

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年 1 0 月 2 8 日  
Date of Application:

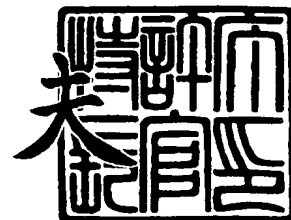
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 3 6 7 4 7 7  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 3 6 7 4 7 7 ]

出 願 人                      ソニー株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 2 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 0390568807  
【提出日】 平成15年10月28日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 B25J 1/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社内  
    【氏名】 入部 正継  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー・ヒューマンキャ  
    ピタル株式会社内  
    【氏名】 山中 一  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000002185  
    【氏名又は名称】 ソニー株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100093241  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 宮田 正昭  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100101801  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 山田 英治  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100086531  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 澤田 俊夫  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2002-367353  
    【出願日】 平成14年12月18日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 048747  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9904833

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

複数の可動関節部を有するロボット装置であって、  
前記関節部を駆動する複数のモータと、  
前記の各モータの負荷状態を検出する複数の第 1 の負荷状態検出手段と、  
前記第 1 の過負荷状態検出手段により、いずれかのモータにおいて過負荷状態が検出されたことに応答して、当該モータに対する負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、

2 以上の前記モータにおける負荷状態の合計が過負荷状態かどうかを検出する第 2 の負荷状態検出手段と、

前記第 2 の過負荷状態検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、所定の機体保護動作を実行する機体保護動作制御手段と、  
を具備することを特徴とするロボット装置。

**【請求項 2】**

モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収装置であって、  
前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクとの絶対値の和に基いて負荷トルクを計測するトルク計測手段と、  
前記トルク計測手段により検出された負荷トルクが所定時間以上継続して第 1 の閾値を越えたことに応答して過負荷状態を検出する過負荷状態検出手段と、  
前記過負荷検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、  
を具備することを特徴とする負荷吸収装置。

**【請求項 3】**

前記第 1 の閾値は、前記モータのストール・トルク近傍、あるいは回路保護の限界などの閾値で構成される、  
ことを特徴とする請求項 2 に記載の負荷吸収装置。

**【請求項 4】**

前記負荷吸収動作制御手段は、過負荷の検出に応答して、前記モータの発生トルクを低減させる、  
ことを特徴とする請求項 2 に記載の負荷吸収装置。

**【請求項 5】**

前記負荷吸収動作制御手段は、過負荷状態の検出に応答して、前記モータの粘性係数を変化させる、  
ことを特徴とする請求項 2 に記載の負荷吸収装置。

**【請求項 6】**

モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収装置であって、  
前記モータの出力軸に与えられる運動エネルギーを計測する運動エネルギー計測手段と、  
前記運動エネルギー計測手段により検出された運動エネルギーの変化量が第 2 の閾値を越えたことに応答して過負荷状態を検出する過負荷状態検出手段と、  
前記過負荷検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、  
を具備することを特徴とする負荷吸収装置。

**【請求項 7】**

前記過負荷検出手段は、運動エネルギーの時間軸上の 2 階微分が前記第 2 の閾値を越えたことに応答して過負荷状態を検出する、  
ことを特徴とする請求項 5 に記載の負荷吸収装置。

**【請求項 8】**

前記負荷吸収動作制御手段は、過負荷の検出状態に応答して、前記モータの発生トルクを低減させる、  
ことを特徴とする請求項 6 に記載の負荷吸収装置。

**【請求項 9】**

前記負荷吸収動作制御手段は、過負荷の検出に応答して、前記モータの粘性係数を変化させる、  
ことを特徴とする請求項 6 に記載の負荷吸収装置。

**【請求項 10】**

モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収装置であって、  
前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクとの絶対値の和に基いて負荷トルクを計測するトルク計測手段と、  
前記モータの出力軸に与えられる運動エネルギーの変化量を計測する運動エネルギー変化量計測手段と、

前記トルク計測手段により検出された負荷トルク又は前記運動エネルギー変化量計測手段により計測された運動エネルギー変化量に基づいて過負荷状態を検出する過負荷状態検出手段と、

前記過負荷状態検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、  
を具備することを特徴とする負荷吸収装置。

**【請求項 11】**

モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収方法であって、  
前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクの絶対値の和を含んだ負荷トルクを計測するトルク計測ステップと、

前記トルク計測ステップにおいて検出された負荷トルクが所定時間以上継続して第 1 の閾値を越えたことに応答して過負荷を検出する過負荷検出ステップと、

前記過負荷検出ステップにおいて過負荷が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御ステップと、  
を具備することを特徴とする負荷吸収方法。

**【請求項 12】**

前記第 1 の閾値は、前記モータのストール・トルク近傍、あるいは回路保護の限界などの閾値で構成される、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の負荷吸収方法。

**【請求項 13】**

前記負荷吸収動作制御ステップでは、過負荷の検出に応答して、前記モータの発生トルクを低減させる、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の負荷吸収方法。

**【請求項 14】**

前記負荷吸収動作制御ステップでは、過負荷の検出に応答して、前記モータの粘性係数を低減させる、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の負荷吸収方法。

**【請求項 15】**

モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収方法であって、

前記モータの出力軸に与えられる運動エネルギーを計測する運動エネルギー計測ステップと、

前記運動エネルギー計測ステップにおいて検出された運動エネルギーの変化量が第 2 の閾値を越えたことに応答して過負荷を検出する過負荷検出ステップと、

前記過負荷検出ステップにおいて過負荷が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御ステップと、  
を具備することを特徴とする負荷吸収方法。

**【請求項 16】**

前記過負荷検出ステップでは、運動エネルギーの時間軸上の 2 階微分が前記第 2 の閾値を越えたことに応答して過負荷を検出する、

ことを特徴とする請求項 15 に記載の負荷吸収方法。

**【請求項 17】**

前記負荷吸収動作制御ステップでは、過負荷の検出に応答して、前記モータの発生トルクを低減させる、  
ことを特徴とする請求項 15 に記載の負荷吸収方法。

**【請求項 18】**

前記負荷吸収動作制御ステップでは、過負荷の検出に応答して、前記モータの粘性係数を低減させる、  
ことを特徴とする請求項 15 に記載の負荷吸収方法。

**【請求項 19】**

モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収方法であって、  
前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクの絶対値の和を含んだ負荷トルクを計測するトルク計測ステップと、  
前記モータの出力軸に与えられる運動エネルギーの変化量を計測する運動エネルギー変化量計測ステップと、  
前記トルク計測ステップにより検出された負荷トルク及び／又は前記運動エネルギー変化量計測手段により計測された運動エネルギー変化量に基づいて過負荷を検出する過負荷検出ステップと、  
前記過負荷検出ステップにより過負荷が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御ステップと、  
を具備することを特徴とする負荷吸収方法。

**【請求項 20】**

関節アクチュエータ用の複数のモータを備えたロボット装置であって、  
請求項 2 又は請求項 6 のいずれかに記載の負荷吸収装置を備える、  
ことを特徴とするロボット装置。

**【書類名】明細書****【発明の名称】** ロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法**【技術分野】****【0001】**

本発明は、モータに印加された負荷を吸収するロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法に係り、特に、多関節型ロボットの関節駆動用アクチュエータとして用いられるモータのためのロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法に関する。

**【0002】**

さらに詳しくは、本発明は、モータの破壊や機体の変形に至りかねない過大な負荷を好適に検出しモータへの過負荷が緩和するような制御を行なうロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法に係り、特に、複数のアクチュエータ・モータからなる多関節型ロボットにおいて、単軸若しくは複数軸のモータに過大な負荷が印加されて部材又は機体が破壊されてしまうことを防止するためのロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法に関する。

**【背景技術】****【0003】**

電氣的若しくは磁氣的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置のことを「ロボット」という。ロボットの語源は、スラブ語の“ROBOTA（奴隷機械）”に由来すると言われている。わが国では、ロボットが普及し始めたのは1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット（industrial robot）であった。最近では、脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきた。ヒトの動作をモデルにした脚式移動ロボットのことを、特に、「人間形」、若しくは「人間型」のロボット（humanoid robot）と呼ぶ。

**【0004】**

2足直立による脚式移動は、クローラ式や、4足又は6足式などに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、不整地や障害物など作業経路上に凹凸のある歩行面や、階段や梯子の昇降など不連続な歩行面に対応することができるなど、柔軟な移動作業を実現できるという点で優れている。

**【0005】**

この種の脚式移動ロボットは、一般に、多数の関節自由度を備え、関節の動きをアクチュエータ・モータで実現するようになっている。すなわち、モータの出力軸には、腕や脚などの構造部材を構成するリンクが減速機を介して連結され、リンクの他端にはさらに次の関節駆動用モータが連結されている。また、各モータの回転位置、回転量などを取り出して、サーボ制御を行なうことにより、所望の動作パターンを再現するとともに、姿勢制御を行なうようになっている。

**【0006】**

ロボットの関節自由度を実現するためにサーボ・モータを用いるのが一般的である。これは、取扱いが容易で、小型且つ高トルクで、しかも応答性に優れているという理由に依拠する。特に、ACサーボ・モータは、ブラシがなく、メンテナンス・フリーであることから、無人化された作業空間で稼動することが望まれるような自動機械、例えば自由歩行を行なう脚式ロボットの関節アクチュエータなどに適用することができる。ACサーボ・モータは、回転子（ロータ）側に永久磁石を、固定子（ステータ）側に複数相（例えば3相）のコイルを配置して、正弦波磁束分布と正弦波電流により回転子に対して回転トルクを発生させるようになっている。

**【0007】**

高度な脚式移動ロボットは、歩行やその他の脚式作業を例えば自立的に行なう。さらにうつ伏せや仰向けなどの床上姿勢からの起き上がり動作や、腕を利用した物体の把持・運搬といった動作を行なうことができる。他方、転倒や進行途上の物体との衝突、あるいは計画軌道上で異物の挟み込みなどによって、過大な負荷が関節アクチュエータに印加され

るケースが想定される。

#### 【0008】

このような過負荷によって、機体が破損したり、あるいは塑性変形を起こしてしまったりするなど、致命的な損傷を被ることがある。このため、関節アクチュエータを構成する各モータにおいて負荷吸収のための機構を採り入れることが重要であると思料される。

#### 【0009】

図33には、ロボットを簡素なモデルで示している。すなわち、ロボットは、図示しない上位コントローラの制御の下で、モータ120を駆動し、その出力トルクを、ギア121を介してリンク122に与えることにより可動部を駆動し得るようになされている。

#### 【0010】

図示の例では、ギア121及びリンク122間にトルク・リミッタが設けられており、リンク122に与えられる外部からの衝撃をこのトルク・リミッタによって吸収することにより、衝撃に起因するモータ120の出力軸の変形などのモータ120等の破損を未然に防止し得るようになされている。

#### 【0011】

ここで、トルク・リミッタ（又はサーボ・セーバ）としては、従来から種々の形態のものが提案されている（例えば、特許文献1を参照のこと）。図34には、トルク・リミッタの一構成例を示している。

#### 【0012】

図示のトルク・リミッタ130においては、リンク135に固定される環体131の内側に半環状の第1及び第2の摩擦板132A、132Bが設けられている。これら第1及び第2の摩擦板132A、132Bがゴム又は圧縮コイルばねなどの弾性体133を介してモータの出力軸134に固定されている。そして、第1及び第2の摩擦板132A、132Bは、弾性体133により環体131の内壁面に一定の圧力で押し付けられている。

#### 【0013】

図示のトルク・リミッタ130においては、通常時には第1及び第2の摩擦板132A、132Bと環体131との間に生じる摩擦力によってモータの出力軸134と一体に環体131を回転させることができる。一方、リンク135に衝撃が与えられるなどして環体131に第1及び第2の摩擦板132A、132Bとの間の静止摩擦力よりも大きい負荷が与えられたときには、当該環体131と第1及び第2の摩擦板132A、132Bとの間に滑りが生じることにより、モータの出力軸134に環体131と第1及び第2の摩擦板132A、132Bとの間の動摩擦力以上の負荷がかからないようになっている。

#### 【0014】

ところが、かかる従来のトルク・リミッタ130においては、環体131と第1及び第2の摩擦板132A、132Bとの間の静止摩擦係数の数値スペックが個体間でばらつき易いという問題がある。また、そのばらつきの幅も大きいためロボット全体としての設計マージンをとることが難しいなど使い難い。

#### 【0015】

また、従来のトルク・リミッタ130においては、環体131と第1及び第2の摩擦板132A、132Bとの間の静止摩擦係数が温度によって変化し易く、この点においても使い難いという問題がある。

#### 【0016】

さらに従来のトルク・リミッタ130は、上述のように機構的に構成されているため、小型軽量化が難しく、その分モータを組込むロボット全体の小型軽量化の妨げとなるという問題もある。

#### 【0017】

【特許文献1】実開昭60-192893号公報（第1図及び第2図）

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0018】

本発明の目的は、多関節型ロボットの関節駆動用アクチュエータとして用いられるモータのための優れたロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法を提供することにある。

【0019】

本発明のさらなる目的は、モータの破壊や機体の変形に至りかねない過大な負荷を好適に検出し、モータへの過負荷が緩和するような制御を行なうことができる、優れたロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法を提供することにある。

【0020】

本発明のさらなる目的は、複数のアクチュエータ・モータからなる多関節型ロボットにおいて、単軸若しくは複数軸のモータに過大な負荷が印加されて部材又は機体が破壊されてしまうことを好適に防止することができる、優れたロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、その第1の側面は、複数の可動関節部を有するロボット装置であって、

前記関節部を駆動する複数のモータと、

前記の各モータの負荷状態を検出する複数の第1の負荷状態検出手段と、

前記第1の過負荷状態検出手段により、いずれかのモータにおいて過負荷状態が検出されたことに応答して、当該モータに対する負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、

2以上の前記モータにおける負荷状態の合計が過負荷状態かどうかを検出する第2の負荷状態検出手段と、

前記第2の過負荷状態検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、所定の機体保護動作を実行する機体保護動作制御手段と、  
を具備することを特徴とするロボット装置である。

【0022】

脚式移動ロボットを始めとする多関節型ロボットは、関節アクチュエータ用の複数のモータと、これらモータの出力軸に連結されたリンクで構成される。このような場合、各モータ単体では過負荷を回避した状態であっても、複数のモータの総体で判断すると過負荷状態に陥っている場合も想定される。このような場合には、各モータ単体についての負荷吸収動作とは別に、機体全体としての負荷回避オペレーションが必要であると思料される。

【0023】

本発明の第1の側面に係るロボット装置によれば、第2の負荷状態検出手段が、2以上のモータにおける負荷状態の合計が過負荷状態かどうかを監視し、モータ単体では過負荷状態ではなくても、腕部や脚部などの所定の部位単位、あるいは機体全体として過負荷状態に陥っているかどうかを検出することができる。そして、複数のモータの合計として過負荷が検出された場合には、モータ単体としての負荷吸収動作ではなく、機体全体として過負荷状態を取り除く機体保護オペレーションを実行するようになっている。

【0024】

ここで言う機体保護オペレーションとしては、例えば、該当するモータ群又は機体全体のモータへの電源遮断や、該当するモータ群又は機体全体のモータの脱力などが挙げられる。モータの脱力は、発生トルクをゼロにしたり、サーボ・ゲイン調整などによりモータの粘性抵抗を低減したりすることにより実現する。

【0025】

また、本発明の第2の側面は、モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収装置であって、

前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクとの絶対値の和に基いて負荷トルクを計測するトルク計測手段と、



前記トルク計測手段により検出された負荷トルクが所定時間以上継続して第1の閾値を越えたことに応答して過負荷状態を検出する過負荷状態検出手段と、

前記過負荷検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、  
を具備することを特徴とする負荷吸収装置である。

【0026】

また、本発明の第3の側面は、モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収装置であって、

前記モータの出力軸に与えられる運動エネルギーを計測する運動エネルギー計測手段と、

前記運動エネルギー計測手段により検出された運動エネルギーの変化量が第2の閾値を越えたことに応答して過負荷状態を検出する過負荷状態検出手段と、

前記過負荷検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、  
を具備することを特徴とする負荷吸収装置である。

【0027】

また、本発明の第4の側面は、モータに印加される負荷を吸収する負荷吸収装置であって、

前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクとの絶対値の和に基いて負荷トルクを計測するトルク計測手段と、

前記モータの出力軸に与えられる運動エネルギーの変化量を計測する運動エネルギー変化量計測手段と、

前記トルク計測手段により検出された負荷トルク又は前記運動エネルギー変化量計測手段により計測された運動エネルギー変化量に基づいて過負荷状態を検出する過負荷状態検出手段と、

前記過負荷状態検出手段により過負荷状態が検出されたことに応答して、前記モータへの負荷を吸収するための動作を制御する負荷吸収動作制御手段と、  
を具備することを特徴とする負荷吸収装置である。

【0028】

脚式移動ロボットを始めとする多関節型ロボットは、一般に、関節アクチュエータ用の複数のモータと、これらモータの出力軸に連結されたリンクで構成される。ここで、歩行やその他の脚式作業中において、転倒や進行途上の物体との衝突、あるいは計画軌道上での異物の挟み込みなどによって、過大な負荷が関節アクチュエータ用のモータに印加されるケースが想定される。このような過負荷によって、機体が破損（リンクが折れる、減速ギアの歯が欠ける）したり、あるいは塑性変形を起こしてしまったりするなど、致命的な損傷を被ることがある。

【0029】

ここで、関節アクチュエータ用のモータに印加される負荷トルクには、衝突などによりリンクなどの部材の破壊に至る歪みエネルギーを被るインパルス的な、いわば「衝撃負荷」と、このような衝撃負荷ほど高いトルクではないが、比較的高い負荷トルクが一定時間以上継続して（すなわち定常的に）印加され部材の塑性変形を招来する、いわば「定常負荷」に大別することができる。後者の定常的な負荷トルク値は、例えば使用するモータのストール・トルク近傍、あるいは回路保護の限界などの閾値である。本発明者らは、衝撃負荷を負荷トルクのAC成分、定常負荷を負荷トルクのDC成分としてそれぞれ位置付けている。

【0030】

本発明の第1の側面によれば、定常負荷すなわち負荷トルクのDC成分を、前記モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクの絶対値の和に基づいて検出し、負荷トルクが所定時間以上継続して第1の閾値を越えたことに応答して、負荷のDC成分が過大であることを認識することができる。モータのトルクはモータ通電電流に比例するという性質から、モータ電流を電流-電圧変換することを経てト

ルクを計測することができる。

【0031】

ここで言う第1の閾値は、例えば使用するモータのストール・トルク近傍、あるいは回路保護の限界などの閾値で構成される。

【0032】

そして、定常負荷による破損を回避するために、モータの発生トルクを低減する、あるいはモータの粘性係数を低減するなど、所定の負荷吸収動作を実行することができる。このような負荷吸収装置は、個体間でのばらつきが少なく、また、温度の影響が低い。また、トルク検出の構成が簡素であることから、モータに内蔵しても小型軽量化を実現することができる。

【0033】

また、本発明の第2の側面によれば、モータの出力軸に与えられる運動エネルギーの変化量がモータに印加されるトルクと角速度の積に比例するという性質に基づいて、運動エネルギー変化量に基づいて負荷トルクを検出し、この負荷トルクが部材の破壊に至るような第2の閾値を越えたことに応答して、負荷のAC成分が過大であることを認識することができる。

【0034】

そして、衝撃負荷による破損を回避するために、モータの発生トルクを低減する、あるいはモータの粘性係数を低減するなど、所定の負荷吸収動作を実行することができる。このような負荷吸収装置は、個体間でのばらつきが少なく、また、温度の影響が低い。また、トルク検出の構成が簡素であることから、モータに内蔵しても小型軽量化を実現することができる。

【0035】

ここで、負荷トルクのAC成分に関しては、インパルス的な性質を持つことから、瞬時に過負荷域に到達してしまい、負荷吸収動作が間に合わない、という可能性がある。上述したように、運動エネルギーの変化量がモータに印加されるトルクと角速度の積に比例するという性質に基づいた場合、トルクが過負荷域に到達するまで待たなければ過負荷を検出することができないが、これでは応答性に問題がある。

【0036】

そこで、単に運動エネルギーの変化量を計測するのではなく、運動エネルギーを時間軸上で2階微分して、変化量の傾きをみて、この傾きが所定値以上であれば過負荷域に到達することを予測し、応答性よく負荷吸収動作を実行するようにすれば良い。

【0037】

また、運動エネルギーの時間による2階微分は、トルク変化速度と角速度の積で近似することができる。一方、モータのトルクはモータ電流に比例するという性質により、モータ電流を電流-電圧変換することを経てトルクを計測できるので、その時間微分によりトルクの変化速度を取り出すことができる。

【0038】

さらに、本発明の第3の側面に係る負荷吸収装置は、モータに印加される負荷トルクのAC成分とDC成分の双方を検出して負荷吸収動作を実行することができるので、脚式移動ロボットが自律動作を行なう際に、予期しないで機体が被るさまざまな衝撃に対応することが可能となる。

【0039】

本発明の第1乃至第3の側面に係る負荷吸収装置によれば、モータ単軸に対して過負荷が印加された場合には、負荷のAC成分並びにDC成分を好適に吸収し、モータや、モータの出力軸に印加されたリンクなどの部材の破損を回避し、被害が他の部材へと拡大するのを防止することができる。

【発明の効果】

【0040】

本発明によれば、多関節型ロボットの関節駆動用アクチュエータとして用いられるモ-

タのための優れたロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法を提供することができる。

#### 【0041】

また、本発明によれば、モータの破壊や機体の変形に至りかねない過大な負荷を好適に検出し、モータへの過負荷が緩和するような制御を行なうことができる、優れたロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法を提供することができる。

#### 【0042】

また、本発明によれば、複数のアクチュエータ・モータからなる多関節型ロボットにおいて、単軸若しくは複数軸のモータに過大な負荷が印加されて部材又は機体が破壊されてしまうことを好適に防止することができる、優れたロボット装置、並びに負荷吸収装置及び負荷吸収方法を提供することができる。

#### 【0043】

本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施形態や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0044】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳解する。

#### 【0045】

#### A. 本実施の形態によるロボットの構成

図1及び図2には、本発明の一実施形態に係る脚式移動ロボットの全体構成を示している。また、図3には、ロボットの自由度構成を模式的に示している。参照番号1は2足歩行型のロボット全体を示している。ロボット1の胴体部ユニット2の上部に頭部ユニット3が配設されるとともに、胴体部ユニット2の上部左右にそれぞれ同じ構成の腕部ユニット4A、4Bがそれぞれ配設され、且つ胴体部ユニット2の下部左右に同じ構成の脚部ユニット5A、5Bがそれぞれ所定位置に取り付けられている。

#### 【0046】

胴体部ユニット2は、体幹上部を形成するフレーム10及び体幹下部を形成する腰ベース11が腰関節機構12を介して連結することにより構成されている。そして、体幹下部の腰ベース11に固定された腰関節機構12の各アクチュエータA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>をそれぞれ駆動することによって、体幹上部を図3に示す直交するロール軸13及びピッチ軸14の回りにそれぞれ独立して回転させることができる。

#### 【0047】

また、頭部ユニット3は、フレーム10の上端に固定された肩ベース15の上面中央部に首関節機構16を介して取り付けられている。そして、首関節機構16の各アクチュエータA<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>をそれぞれ駆動することによって、図3に示す直交するピッチ軸17及びヨー軸18の回りにそれぞれ独立に回転させることができる。

#### 【0048】

また、各腕部ユニット4A、4Bは、それぞれ肩関節機構19を介して肩ベース15の左右に取り付けられている。そして、左右それぞれ対応する肩関節機構19の各アクチュエータA<sub>5</sub>、A<sub>6</sub>並びにA<sub>9</sub>、A<sub>10</sub>をそれぞれ駆動することによって、図3に示す直交するピッチ軸20及びロール軸21の回りにそれぞれ独立に回転させることができる。

#### 【0049】

図示の例では、左右各腕部ユニット4A、4Bは、それぞれ上腕部を形成するアクチュエータA<sub>7</sub>並びにA<sub>11</sub>の出力軸に肘関節機構22を介して前腕部を形成するアクチュエータA<sub>8</sub>並びにA<sub>12</sub>が連結され、前腕部の先端に手部23が取り付けられている。左右の各腕部ユニット4A、4Bでは、各アクチュエータA<sub>7</sub>並びにA<sub>11</sub>を駆動することによって、前腕部を図3に示すヨー軸24の回りに回転させることができる。また、各アクチュエータA<sub>8</sub>並びにA<sub>12</sub>を駆動することによって、前腕部を図3に示すピッチ軸25の回りに回転させることができる。

#### 【0050】

また、各脚部ユニット 5 A、5 B は、股関節機構 26 を介して体幹下部の腰ベース 11 にそれぞれ取り付けられている。そして、左右それぞれに対応する股関節機構 26 の各アクチュエータ A<sub>13</sub>～A<sub>18</sub>並びに A<sub>19</sub>～A<sub>24</sub>を駆動することによって、図 3 に示す互いに直交するヨー軸 27、ロール軸 28 及びピッチ軸 29 の回りにそれぞれ独立に回転させることができる。

#### 【0051】

図示の例では、各脚部ユニット 5 A、5 B は、それぞれ大腿部を形成するフレーム 30 の下端に膝関節機構 31 を介して下腿部を形成するフレーム 32 が連結されるとともに、フレーム 32 の下端に足首関節機構 33 を介して足部 34 が連結されている。左右の各脚部ユニット 5 A、5 B では、膝関節機構 31 を形成するアクチュエータ A<sub>16</sub>又は A<sub>22</sub>を駆動することによって、下腿部を図 3 に示すピッチ軸 35 の回りに回転させることができる。また、左右の足首関節機構 33 のアクチュエータ A<sub>17</sub>、A<sub>18</sub>又は A<sub>23</sub>、A<sub>24</sub>をそれぞれ駆動することによって、足部 34 を図 3 に示す直交するピッチ軸 36 及びロール軸 37 の回りにそれぞれ独立して回転させることができる。

#### 【0052】

図 4 には、本実施形態に係る脚式移動ロボット 1 の制御構成を模式的に示している。胴体部ユニット 2 の体幹下部を形成する腰ベース 11 の背面側には、ロボット 1 全体の動作制御を司るメイン制御部 40 と、電源回路及び通信回路などの周辺回路 41 と、バッテリー 45 となどが収納されてなる制御ユニット 42 が配設されている。

#### 【0053】

また、図 5 には、制御ユニット 42 の内部構成を模式的に示している。制御ユニット 42 は、各構成ユニット（胴体部ユニット 2、頭部ユニット 3、各腕部ユニット 4 A、4 B 及び各脚部ユニット 5 A、5 B）内にそれぞれ配設された各サブ制御部 43 A～43 D と接続しており、これらサブ制御部 43 A～43 D に対して必要な電源電圧を供給したり、これらサブ制御部 43 A～43 D とデータ通信を行ったりすることができる。

#### 【0054】

各サブ制御部 43 A～43 D は、それぞれ対応する構成ユニット内の各アクチュエータ A<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>と接続しており、構成ユニット内の各アクチュエータ A<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>をメイン制御部 40 から与えられる各種制御コマンドに基づいて指定された状態に駆動する。

#### 【0055】

頭部ユニット 3 には、図 5 に示すように、このロボット 1 の「目」として機能する CCD（Charge Coupled Device：電荷結合素子）カメラ 50 や、「耳」として機能するマイクロホン 51 などの各種外部センサと、「口」として機能するスピーカ 52 となどの出力装置がそれぞれ所定位置に配設されている。また、手部 23 の表面や足部 34 の底面部などには、外部センサとしてのタッチ・センサ 53 が配設されている。さらに、制御ユニット 42 内には、バッテリー・センサ 54 や、加速度センサ 55 など、各種の内部センサが配設されている。

#### 【0056】

CCD カメラ 50 は、周囲の状況を撮像し、得られた画像信号 S1 A をメイン制御部に送出する。また、マイクロホン 51 は、各種外部音を集音し、得られた音声信号 S1 B をメイン制御部 40 に送出する。また、タッチ・センサ 53 は、ユーザからの物理的な働きかけや、外部との物理的な接触を検出し、検出結果を圧力検出信号 S1 C としてメイン制御部 40 に送出する。また、バッテリー・センサ 54 は、主電源としてのバッテリー 45 の残量を所定周期毎に検出し、バッテリー残量検出信号 S2 A としてメイン制御部 40 に送出する。また、加速度センサ 55 は、3 軸方向（x 軸、y 軸及び z 軸）の加速度を所定周期毎に検出し、加速度検出信号 S2 B としてメイン制御部 40 に送出する。

#### 【0057】

メイン制御部 40 は、CCD カメラ 50、マイクロホン 51、タッチ・センサ 53 などからそれぞれ供給される外部センサ出力としての画像信号 S1 A、音声信号 S1 B 及び圧力検出信号 S1 C などと、バッテリー・センサ 54 や加速度センサ 55 などからそれぞれ供

給される内部センサ出力としてのバッテリ残量検出信号 S 2 A 及び加速度検出信号 S 2 B などに基づいて、ロボット 1 の周囲及び内部の状況や、外部物体との接触などを判断する。

#### 【0058】

そして、メイン制御部 40 は、この判断結果と、あらかじめ内部メモリ 40 A に格納されている制御プログラムと、そのとき装填されている外部メモリ 56 に格納されている各種制御パラメータとに基づいて続く行動を決定し、決定結果に基づく制御コマンドを対応するサブ制御部 43 A ~ 43 D に送出する。この結果、この制御コマンドに基づき、そのサブ制御部 43 A ~ 43 D の制御の下に、対応するアクチュエータ A<sub>1</sub> ~ A<sub>24</sub> が駆動され、かくして頭部ユニット 3 を上下左右に揺動させたり、腕部ユニット 4 A、4 B を上にあげたり、歩行するなどの行動がロボット 1 により発現されることとなる。

#### 【0059】

また、メイン制御部 40 は、音声信号 S 1 B に基づく音声認識処理によりユーザの発話内容を認識するとともに、認識結果に応じた音声信号 S 3 をスピーカ 52 に与えることにより、ユーザと対話するための合成音声を外部に出力させる。

#### 【0060】

このようにして、ロボット 1 は、周囲及び内部の状況などに基づいて自律的に行動することができ、またユーザと対話することもができる。

#### 【0061】

図 6 には、本実施形態に係る脚式移動ロボット 1 上で稼動するソフトウェア制御構成を模式的に示している。

#### 【0062】

同図に示すように、ロボット制御用のソフトウェアは、複数層のソフトウェアで構成される階層構造を備え、制御用ソフトウェアにはオブジェクト指向プログラミングを採り入れることができる。各ソフトウェアは、データとそのデータに対する処理手続きとを一体化させた「オブジェクト」というモジュール単位で扱われる。

#### 【0063】

最下層のデバイス・ドライバは、各関節アクチュエータの駆動やセンサ出力の受信などハードウェアに対して直接アクセスすることを許容されたオブジェクトであり、ハードウェアからの割り込み要求に応答して該当する処理を行なう。

#### 【0064】

仮想ロボットは、各種デバイス・ドライバと所定のオブジェクト間通信プロトコルに基づいて動作するオブジェクトとの仲介となるオブジェクトである。脚式移動ロボット 1 を構成する各ハードウェア装置へのアクセスは、この仮想ロボットを介して行なわれる。

#### 【0065】

サービス・マネージャは、コネクション・ファイルに記述されたオブジェクト間の接続情報を基に、各オブジェクトに接続を促すシステム・オブジェクトである。

#### 【0066】

システム層 (OS) より上位のソフトウェアは、オブジェクト (プロセス) 毎にモジュール化されており、必要な機能毎にオブジェクトを選択して置換容易な構成になっている。したがって、コネクション・ファイルを書き換えることで、データ型が一致するオブジェクトの入出力を自由に接続することができる。

#### 【0067】

デバイス・ドライバ層とシステム層以外のソフトウェア・モジュールは、ミドルウェア層とアプリケーション層に大別される。

#### 【0068】

図 7 には、ミドルウェア層の内部構成を模式的に図解している。

#### 【0069】

ミドルウェア層は、脚式移動ロボット 1 の基本的な機能を提供するソフトウェア・モジュールの集まりであり、各モジュールの構成は脚式移動ロボット 1 の機械的・電氣的な特

性や仕様、形状などハードウェア属性の影響を受ける。このミドルウェア層は、機能的に、認識系のミドルウェア（図7の左半分）と、出力系のミドルウェア（図7の右半分）に分けることができる。

#### 【0070】

認識系のミドルウェアでは、画像データや音声データ、その他のセンサから得られる検出データなど、ハードウェアから供給される生データを仮想ロボット経由で受け取ってこれら进行处理する。例えば、各種入力情報に基づき、音声認識、距離検出、姿勢検出、接触、動き検出、色認識などの処理を行ない、認識結果を得る（例えば、「ボールを検出した」、「転倒を検出した」、「撫でられた」、「叩かれた」、「ドミソの音階が聞こえた」、「（動く物体を）検出した」、「（障害物を）検出した」、「（障害物を）認識した」など）。認識結果は、入力セマンティクス・コンバータを介して上位のアプリケーション層に通知され、その後の行動計画や学習などに利用される。

#### 【0071】

一方、出力系のミドルウェアでは、歩行、動きの再生、出力音の合成、目に相当するLEDの点灯制御などの機能を提供する。すなわち、アプリケーション層において立案された行動計画を出力セマンティクス・コンバータ経由で受信処理し、脚式移動ロボット1の機能毎にロボットの各ジョイントのサーボ指令値や出力音、出力光（LED）、出力音声などを生成し、仮想ロボットを介して脚式移動ロボット1の機体動作として発現する。また、本実施形態では、複数のアクチュエータ・モータの総体での過負荷状態を検出する負荷監視モジュール部や、かかる過負荷状態の検出に応答して機体保護動作を実行するモジュール部などを含んでいる（後述）。

#### 【0072】

図8には、アプリケーション層の内部構成を模式的に図解している。アプリケーション層は、脚式移動ロボット1の機体動作や本能・感情などの内部状態を制御する1以上のアプリケーション・ソフトウェアで構成される。

#### 【0073】

アプリケーションは、入力セマンティクス・コンバータ経由で受け取った認識結果を使って、脚式移動ロボット1の行動計画を決定して、出力セマンティクス・コンバータ経由で決定された行動を返す。

#### 【0074】

アプリケーションは、ロボットの感情をモデル化した感情モデルと、本能をモデル化した本能モデルと、外部事象を逐次記憶していく学習モジュールと、行動パターンをモデル化した行動モデルと、行動モデルによって決定された行動の出力先を切り替える行動切替部とで構成される。

#### 【0075】

入力セマンティクス・コンバータ経由で入力される認識結果は、感情モデル、本能モデル、行動モデルに入力されるとともに、学習モジュールには学習教示信号として入力される。

#### 【0076】

行動モデルによって決定された脚式移動ロボット1の行動は、行動切替部並びに出力セマンティクス・コンバータ経由でミドルウェアに送信され、脚式移動ロボット1の機体上で実行される。あるいは、行動切替部を介して、行動履歴として感情モデル、本能モデル、学習モジュールに、行動履歴として供給される。

#### 【0077】

感情モデルと本能モデルは、それぞれ認識結果と行動履歴を入力に持ち、感情値と本能値を管理している。行動モデルは、これら感情値や本能値を参照することができる。また、学習モジュールは、学習教示信号に基づいて行動選択確率を更新して、更新内容を行動モデルに供給する。

#### 【0078】

B. アクチュエータA<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>の構成

既に述べたように、本実施形態に係る脚式移動ロボット 1 の各関節自由度は、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  によって実現される。

#### 【0079】

図 9 には、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の内部構成を示している。同図に示すように、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  は、回転トルクを発生させるモータ部 60 と、当該モータ部 60 において発生された回転トルクを増幅して出力するトルク増幅部 61 で構成されている。

#### 【0080】

モータ部 60 においては、金属等の導電材からなるモータ・ケース 62 の内部に回転軸受け 63A、63B により回転自在に枢支されたロータ軸 64 が設けられている。図 10 には、ロータ軸 64 及びロータ軸磁極角度センサの構成を示している。同図に示すように、ロータ軸 64 にロータ基体 65 2 極に着磁されたリング状の永久磁石でなるロータ・マグネット 65 が同軸に一体化されることによりロータ 66 が形成されている。

#### 【0081】

また、図 11 には、ロータ 66 及びステータス鉄心 67A～67F の位置関係を図解している。モータ・ケース 62 の内側には、同図に示すように、ロータ 66 を取り囲むように 6 つのステータ鉄心 67A～67F が等間隔（60° 間隔）で固着されている。これら各ステータ鉄心 67（67A～67F）には、それぞれ巻線が施され、3 相のコイル 68（68u、68v、68w）を構成している。

#### 【0082】

図示のように、3 組のそれぞれ対向する 2 つのコイル 68 のをそれぞれ u 相、v 相、及び w 相とする。そして、これら u 相、v 相及び w 相の各コイル 68 にそれぞれ 120 度ずつ位相がずれたコイル電流を印加し、各コイル 68 に駆動電流の電流値に応じた強さの磁界を発生させることによって、ロータ 66 を介してコイル電流の電流値に応じた大きさの回転トルクをロータ 66 に発生させることができる。

#### 【0083】

図 12 には、トルク増幅部 61 の構成を示している。図 6 並びに図 9 から分かるように、トルク増幅部 61 においては、モータ・ケース 62 の先端部に着脱自在に固定されたギア・ケース 69 を有する。そして、ギア・ケース 69 の内部には、ギア・ケース 69 の内側面に固定された環状の内歯車 70 と、ロータ軸 64 の先端部に固定された太陽歯車 71 と、内歯車 70 及び太陽歯車 71 間に 120 度の間隔で配置された第 1～第 3 の遊星歯車 72A～72C からなる遊星歯車機構 73 が設けられている。

#### 【0084】

また、遊星歯車機構 73 を構成する第 1～第 3 の遊星歯車 72A～72C の各軸 74A～74C は、それぞれギア・ケース 69 の先端に回転自在に配置された出力軸 75 に固定されている。これにより、トルク増幅部 61 においては、モータ部 60 からロータ軸 64 を介して与えられる回転トルクを、遊星歯車機構 73 を介して増幅して出力軸 75 に伝達し、当該出力軸 75 を介して外部に出力することができる。

#### 【0085】

また、モータ部 60 のモータ・ケース 62 の内部には、ロータ軸 64 の回転を検出するエンコーダ 76 と、外部の上位コントローラ（対応するサブ制御部 43A～43D）からの動作指令に基づいて出力軸 64 の回転角度、回転トルクなどを制御する制御基板 77 が収納されている（図 9 を参照のこと）。

#### 【0086】

この場合、エンコーダ 76 は、ロータ 66 のロータ基体 65 の前端面に固着された、2 極に着磁された樹脂マグネット 78 と、第 1 及び第 2 のホール素子 79A、79B で構成されている（図 10（C）を参照のこと）。図 13 には制御基板 77 の構成を示している。同図（B）に示すように、第 1 及び第 2 のホール素子 79A、79B は、ロータ軸 64 と同心円状に 90 度の位相差を以って位置するように制御基板 77 に搭載されている。

#### 【0087】

また、エンコーダ 76 は、ロータ 66 のロータ基体 65 の前端面に固着された、2 極に

着磁された樹脂マグネット 78 と、第 1 及び第 2 のホール素子 79 A、79 B で構成されている（図 10（C）を参照のこと）。図 13 及び図 14 には、制御基板 77 の構成を示している。同図（B）に示すように、第 1 及び第 2 のホール素子 79 A、79 B は、ロータ軸 64 と同心円状に 90 度の位相差を以って位置するように制御基板 77 に搭載されている。このような構成により、エンコーダ 76 においては、ロータ軸 64 の回転位置を、ロータ軸 64 と一体に回転する樹脂マグネット 78 の回転に伴って、本実施形態では、複数のアクチュエータ・モータの総体での過負荷状態を検出する負荷監視モジュール部や、かかる過負荷状態の検出にตอบสนองして機体保護動作を実行するモジュール部などを含んでいる（後述）。第 1 及び第 2 のホール素子 79 A、79 B の配設位置における磁束密度の変化として検出することができる。

#### 【0088】

また、図 14 に示すように、制御基板 77 においては、環状に形成されたプリント配線板の一面側に、制御 IC 80 が搭載されるとともに、制御 IC 80 の制御の下にモータ部 60 の各コイル 68 u、68 v、68 w に駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  を供給する駆動回路 81 が形成されることにより構成されている。制御 IC 80 は、第 1 及び第 2 のホール素子 79 A、79 B の出力をそれぞれ第 1 及び第 2 の位置検出信号 S10 A、S10 B として入力し、これら入力値に基づいてロータ軸 64 の回転位置を検出することができる。

#### 【0089】

また、制御基板 77 においては、ケーブル 83（図 9 を参照のこと）を通じて上位コントローラ（対応するサブ制御部）と接続されており、かくして制御 IC 80 がこのケーブル 83 経由で上位コントローラと通信し、且つ電源電圧  $V_{cc}$  を入力する。

#### 【0090】

制御 IC 80 は、ケーブル 83 を介して上位コントローラから与えられる動作指定 COM と、第 1 及び第 2 の位置検出信号 S10 A、S10 B に基づいて駆動回路 81 を制御することにより、モータ部 60 の u 相、v 相及び w 相の各コイル 68 に対してそれぞれ対応する電流値の駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  を印加する。これにより、上位コントローラからの動作指令 COM に応じた回転角度又は回転トルクとなるようにモータ部 60 を回転駆動させることができる。

#### 【0091】

#### C. 制御 IC 80 及び駆動回路 81 の具体的構成

図 15 には、制御 IC 80 及び駆動回路 81 の構成を示している、同図に示すように、制御 IC 80 は、演算処理部 90、PWM 制御部 91 及び付加論理回路 92 から構成されている。

#### 【0092】

演算処理部 90 は、CPU、ROM 及び RAM などを含むマイクロコンピュータ構成であり、上位コントローラからの動作指令 COM に基づくモータ部 60 のロータ軸 64 の目標とすべき回転位置と、このときエンコーダ 76 から与えられる第 1 及び第 2 の位置検出信号 S10 A、S10 B に基づき算出される現在のロータ軸 64 の回転位置との差分を演算するとともに、この差分を解消するために目標とすべき出力トルク（以下、これを目標トルクと呼ぶ）を演算し、当該演算結果をトルク指令信号 S12 として PWM 制御部 91 に送出する。

#### 【0093】

PWM 制御部 91 は、供給されるトルク指令信号 S12 に基づいて、モータ部 60 の出力トルクとして目標トルクを得られるように、付加論理回路 92 を介して駆動回路 81 を PWM 制御する。

#### 【0094】

駆動回路 81 は、u 相用の一対の PNP 型トランジスタ  $TR_{u1}$  及び NPN 型トランジスタ  $TR_{u2}$  と、v 相用の一対の PNP 型トランジスタ  $TR_{v1}$  及び NPN 型トランジスタ  $TR_{v2}$  と、w 相用の一対の PNP 型トランジスタ  $TR_{w1}$  及び NPN 型トランジスタ  $TR_{w2}$  で構成されている。



## 【0095】

各PNP型トランジスタ $TR_{u1}$ 、 $TR_{v1}$ 、 $TR_{w1}$ は、それぞれエミッタが電源電圧 $V_{cc}$ に接続されるとともに、コレクタがそれぞれ対をなすNPN型トランジスタ $TR_{u2}$ 、 $TR_{v2}$ 、 $TR_{w2}$ のコレクタと接続され、各NPN型トランジスタ $TR_{u2}$ 、 $TR_{v2}$ 、 $TR_{w2}$ は、それぞれエミッタが接地されている。また、各PNP型トランジスタ $TR_{u1}$ 、 $TR_{v1}$ 、 $TR_{w1}$ のコレクタと、これと対をなすNPN型トランジスタ $TR_{u2}$ 、 $TR_{v2}$ 、 $TR_{w2}$ のコレクタとの各接続中点P1～P3は、u相用のコイル68u及びw相用のコイル68wの接続中点P4、u相用のコイル68u及びv相用のコイル68vの接続中点P6、並びにv相用のコイル68v及びw相用のコイル68wの接続中点P6とそれぞれ接続されている。

## 【0096】

駆動回路81におけるu相用のPNP型トランジスタ $TR_{u1}$ 及びv相用のNPN型トランジスタ $TR_{v2}$ をオンにするとともに、u相用のNPN型トランジスタ $TR_{u2}$ 及びv相用のPNP型トランジスタ $TR_{v1}$ をオフにすることによって、u相のコイル68uを通電状態とさせて矢印方向に駆動電流 $I_u$ を流すことができる。また、u相用及びv相用の各PNP型トランジスタ $TR_{u1}$ 、 $TR_{v1}$ をオフ、u相用及びv相用の各NPN型トランジスタ $TR_{u2}$ 、 $TR_{v2}$ をオフとすることによって、端子P4、P5をオープン状態とし、u相のコイル68uの非通電状態とすることができる。

## 【0097】

同様に、駆動回路81におけるv相用のPNP型トランジスタ $TR_{v1}$ 及びw相用のNPN型トランジスタ $TR_{w2}$ をオンにするとともに、v相用のNPN型トランジスタ $TR_{v2}$ 及びw相用のPNP型トランジスタ $TR_{w1}$ をオフにすることによって、v相のコイル68vを通電状態とさせて矢印方向に駆動電流 $I_v$ を流すことができる。また、v相用及びw相用の各PNP型トランジスタ $TR_{v1}$ 、 $TR_{w1}$ をオフ、各NPN型トランジスタ $TR_{v2}$ 、 $TR_{w2}$ をオフとすることによって、端子P5、P6をオープン状態とし、v相のコイル68vの非通電状態とすることができる。

## 【0098】

また同様に、駆動回路81におけるw相用のPNP型トランジスタ $TR_{w1}$ 及びu相用のNPN型トランジスタ $TR_{u2}$ をオンにするとともに、w相用のNPN型トランジスタ $TR_{w2}$ 及びu相用のPNP型トランジスタ $TR_{u1}$ をオフにすることによってw相のコイル68wを通電状態とさせて矢印方向に駆動電流 $I_w$ を流すことができる。また、w相用及びu相用の各PNP型トランジスタ $TR_{w1}$ 、 $TR_{u1}$ をオフ、各NPN型トランジスタ $TR_{w2}$ 、 $TR_{u2}$ をオフとすることによって、端子P6、P4をオープン状態とし、w相のコイル68wの非通電状態とすることができる。

## 【0099】

このようにして、PWM制御部91は、駆動回路81のu相用、v相用及びw相用の各PNP型トランジスタ $TR_{u1}$ 、 $TR_{v1}$ 、 $TR_{w1}$ 及び各NPN型トランジスタ $TR_{u2}$ 、 $TR_{v2}$ 、 $TR_{w2}$ のベースに対してトルク指令信号S12に基づいて得られる目標トルクに応じた第1～第6のPWM信号S13<sub>u1</sub>、S13<sub>u2</sub>、S13<sub>v1</sub>、S13<sub>v2</sub>、S13<sub>w1</sub>、S13<sub>w2</sub>を印加することにより、u相、v相及びw相の各コイル68u、68v、68wをそれぞれ所定のタイミングで通電状態及び非通電状態に順次切り換え、これによりモータ部60を回転駆動させることができる。

## 【0100】

なお、このようなPWM制御によりモータ部60の位置制御を行なう場合、コイル68u、68v、68wの非通電時に当該コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6をオープン状態とすると、モータ部60に通電された電流（厳密には電荷）が抜けてしまうことによるトルク・ロスの発生や、コギングによるトルクむらの影響を受け易くなるという問題が生じる。

## 【0101】

本実施形態では、コイル68u、68v、68wの非通電時、コイル68u、68v、

68wの端子P4、P5、P6をオープン状態とせずに短絡（ショート）状態とすることにより、コイル68u、68v、68wに通電された電流（厳密には電荷）が抜け難くなるという性質を利用することで、このトルク・ロスの問題を解決するようにしている。図16には、コイルの終端をオープン状態並びに短絡状態にした場合におけるコイル電流の過渡応答特性を示しているが、短絡状態にした方が過渡特性の整定時間が長くなり、コイル電流が抜けにくくなることが分かる

#### 【0102】

これは、コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6を短絡状態とすることによって、モータ部60のコイル68u、68v、68wの直流抵抗とインダクタンスに起因する過渡応答の時間遅れを利用したものである。またその短絡状態により、モータ部60のコイル68u、68v、68wにロータ・マグネット65からの磁束密度により逆起電力が発生する。この逆起電力によりロータ66の回転方向の逆方向に力が作用し、外力による回転に対する粘性抵抗を作り出すことができ、ブレーキに類似した効果を得ることができる。このようなモータ部60への粘性係数を作り出すことによる粘性抵抗により、トルク・ロスがなくコギングによるトルクむらの影響を軽減できる。

#### 【0103】

但し、このようにコイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6の短絡状態を形成した場合、上述のようにモータ部60に一種の粘性抵抗を与えることとなり、コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6の短絡によるブレーキの影響を受けてモータ部60のコンプライアンス（機械的受動性）がなくなる問題を招来する。

#### 【0104】

そこで、本実施形態では、コイル68u、68v、68wの非通電状態の期間、コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6をオープン状態と短絡状態とに順次交互に切り換えるとともに、この際オープン状態の期間と短絡状態の期間との比率を所望するコンプライアンスとなるように調整することによって、コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6をオープン状態とすることによるトルク・ロスなどの問題と、コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6を短絡状態とすることによるコンプライアンスの低下という問題とをともに解決するようにしている。

#### 【0105】

實際上、各コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6をオープン状態と短絡状態とに順次切り換える手段として、PWM制御部91の後段に付加論理回路92が設けられている。付加論理回路92には、あらかじめ設定されたコイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6におけるオープン状態及び短絡状態の各期間の比率に応じてPWM変調された矩形波状のBRAKE\_\_PWM制御信号S14が、第1～第6のPWM信号S13<sub>u1</sub>、S13<sub>u2</sub>、S13<sub>v1</sub>、S13<sub>v2</sub>、S13<sub>w1</sub>、S13<sub>w2</sub>とともにPWM制御部91から与えられる。図17には、BRAKE\_\_PWM制御信号の波形例を示している。

#### 【0106】

付加論理回路92は、コイル68u、68v、68wの非通電時であって、BRAKE\_\_PWM制御信号S14が論理「1」レベルの期間は、コイル68u、68v、68wの端子P4、P5、P6を短絡させるように対応する第1～第6のPWM信号PWM信号S13<sub>u1</sub>、S13<sub>u2</sub>、S13<sub>v1</sub>、S13<sub>v2</sub>、S13<sub>w1</sub>、S13<sub>w2</sub>の論理レベルを必要に応じて切り換えるようになっている。

#### 【0107】

具体的には、通常のコイル非通電時には、PWM制御部91からは、u相のコイル68uの端子P4、P5をオープン状態にするため、u相用のPNP型トランジスタTR<sub>u1</sub>及びv相用のPNP型トランジスタTR<sub>v1</sub>をオフ、u相用のNPN型トランジスタTR<sub>u2</sub>及びv相用のNPN型トランジスタTR<sub>v2</sub>をオフにする第1～第4のPWM信号S13<sub>u1</sub>、S13<sub>u2</sub>、S13<sub>v1</sub>、S13<sub>v2</sub>が出力される。これに対し、付加論理回路92は、BRAKE\_\_PWM制御信号S14が論理「1」レベルの期間は、オフ状態のu相用のPNP型

トランジスタ  $TR_{u1}$ 、並びに  $v$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{v1}$  をそれぞれオンに転じて、 $u$  相のコイル 68  $u$  の端子 P 4 及び P 5 の短絡状態を間歇的に形成する。

#### 【0108】

同様に、通常のコイル非通電時には、PWM制御部 9 1 からは、 $v$  相のコイル 68  $v$  の端子 P 5、P 6 をオープン状態にするため、 $v$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{v1}$  及び  $w$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{w1}$  をオフ、 $v$  相用の NPN 型トランジスタ  $TR_{v2}$  及び  $w$  相用の NPN 型トランジスタ  $TR_{w2}$  をオフにする第 3～第 6 の PWM 信号  $S13_{v1}$ 、 $S13_{v2}$ 、 $S13_{w1}$ 、 $S13_{w2}$  が出力される。これに対し、付加論理回路 9 2 は、BRAKE\_\_PWM制御信号  $S14$  が論理「1」レベルの期間は、オフ状態の  $v$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{v1}$ 、並びに  $w$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{w1}$  をそれぞれオンに転じて、 $v$  相のコイル 68  $v$  の端子 P 5 及び P 6 の短絡状態を間歇的に形成する。

#### 【0109】

また同様に、通常のコイル非通電時、PWM制御部 9 1 からは、 $w$  相のコイル 68  $w$  の端子 P 6、P 4 をオープン状態にするため、 $w$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{w1}$  及び  $u$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{u1}$  をオフ、 $w$  相用の NPN 型トランジスタ  $TR_{w2}$  及び  $u$  相用の NPN 型トランジスタ  $TR_{u2}$  をオフにする第 1、第 2、第 5 及び第 6 の PWM 信号  $S13_{u1}$ 、 $S13_{u2}$ 、 $S13_{w1}$ 、 $S13_{w2}$  が出力される。これに対し、付加論理回路 9 2 は、BRAKE\_\_PWM制御信号  $S14$  が論理「1」レベルの期間は、オフ状態の  $w$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{w1}$ 、並びに  $u$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{u1}$  をそれぞれオンに転じて、 $w$  相のコイル 68  $w$  の端子 P 6 及び P 4 の短絡状態を間歇的に形成する。

#### 【0110】

一方、付加論理回路 9 2 は、通常のコイル非通電時、BRAKE\_\_PWM制御信号  $S14$  が論理「0」レベルのときには、PWM制御部 9 1 からの第 1～第 6 の PWM 信号  $S13_{u1}$ 、 $S13_{u2}$ 、 $S13_{v1}$ 、 $S13_{v2}$ 、 $S13_{w1}$ 、 $S13_{w2}$  を、切り替えることなくそのまま出力する。したがって、論理「0」レベルの期間には、 $u$  相、 $v$  相及び  $w$  相の各コイル 68  $u$ 、68  $v$ 、68  $w$  の端子 P 4、P 5、P 6 はそれぞれオープン状態のままとなる。

#### 【0111】

図 1 8 には、付加論理回路 9 2 の具体的構成を示している。図示の付加論理回路 9 2 においては、PWM制御部 9 1 からの第 1 の PWM 信号  $S13_{u1}$ 、第 3 の PWM 信号  $S13_{v1}$  及び第 5 の PWM 信号  $S13_{w1}$  の論理積が AND 回路 1 0 0 で演算されるとともに、第 2 の PWM 信号  $S13_{u2}$ 、第 4 の PWM 信号  $S13_{v2}$  及び第 6 の PWM 信号  $S13_{w2}$  の排他的論理和が NOR 回路 1 0 1 において演算される。

#### 【0112】

また、これら AND 回路 1 0 0 の出力と、NOR 回路 1 0 1 の出力との論理積の反転が NAND 回路 1 0 2 B において演算され、この NAND 回路 1 0 2 B の出力と、BRAKE\_\_PWM制御信号  $S14$  の反転信号が 1 0 2 A から出力された結果との論理和が OR 回路 1 0 3 において演算される。

#### 【0113】

さらに、この OR 回路 1 0 3 の出力と、元の第 1～第 6 の PWM 信号  $S13_{u1}$ 、 $S13_{u2}$ 、 $S13_{v1}$ 、 $S13_{v2}$ 、 $S13_{w1}$ 、 $S13_{w2}$  との論理積が第 1～第 6 の AND 回路 1 0 4 A～1 0 4 F においてそれぞれ演算される。そして、これら第 1～第 6 の AND 回路 1 0 4 A～1 0 4 F の出力がそれぞれ上述のように  $u$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{u1}$  及び NPN 型トランジスタ  $TR_{u2}$  と、 $v$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{v1}$  及び NPN 型トランジスタ  $TR_{v2}$  と、 $w$  相用の PNP 型トランジスタ  $TR_{w1}$  及び NPN 型トランジスタ  $TR_{w2}$  にそれぞれ与えられる。

#### 【0114】

ここで、コイル非通電時にコイル 68  $u$ 、68  $v$ 、68  $w$  の端子 P 4、P 5、P 6 を短絡状態にすると、図 1 6 を参照しながら説明したように、過渡応答により、コイル 68  $u$ 、68  $v$ 、68  $w$  の駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  がゼロに戻るまでの時間が長くなる。し

たがって、オープン状態と短絡状態のスイッチング動作を繰り返した場合、コイル 68 u、68 v、68 w の非通電時に駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  がゼロに戻る前に次の通電が開始される。

#### 【0115】

これによりコイル 68 u、68 v、68 w に供給される駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  の最大値は、コイル 68 u、68 v、68 w の通電及び非通電の動作の度に逐次上昇していくが、その上昇傾向はデューティ比すなわち BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 が論理「1」レベルとなる比率にほぼ比例する。同様に、コイル 68 u、68 v、68 w の駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  の実効値も徐々に増加していくことになるが、その上昇傾向はデューティ比すなわち BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 が論理「1」レベルとなる比率にほぼ比例する。

#### 【0116】

また、モータ部 60 の出力トルクは、コイル 68 u、68 v、68 w に供給する駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  の値の和にモータ部 60 のトルク定数  $K_t$  を乗じた値となるので、コイル 68 u、68 v、68 w の通電状態及び非通電状態を繰り返したとき、駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  の値の和の増大に伴って、モータ部 60 の出力トルクの実効値は増大していく。

#### 【0117】

このときの上昇傾向は、BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比すなわち当該 BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 が論理「1」レベルとなる比率にほぼ比例する。そして、モータ部 60 の出力トルクの出力が上昇していく傾きの大小が、モータ部 60 の粘性係数の大きさに比例する。言い換えれば、BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比によってモータ部 60 の粘性係数を、デューティの分解能の範囲で動的に任意に設定することができる。

#### 【0118】

したがって、BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比を変化させることによって、モータ部 60 の粘性係数を制御できる。また、u 相、v 相及び w 相の各コイル 68 u、68 v、68 w の非通電時において、当該コイル 68 u、68 v、68 w に入る電流（電荷の量）を制御できる。

#### 【0119】

このとき、粘性係数が大きくなるように BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比を設定すると、モータ部 60 の保持力が向上し、コギングなどのトルクの外乱が減る。また外力へのコンプライアンス量を制御することができる。

#### 【0120】

このように、PWM 制御部 91 が付加論理回路 92 に供給する BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比を PWM 制御することにより、非通電時におけるコイル 68 u、68 v、68 w の端子 P4、P5、P6 オープン状態と短絡状態の期間の比率を調整することにより、所望のコンプライアンスを得ることができる。図 19 には、BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比とモータ部 60 の粘性係数の関係を示している。

#### 【0121】

### D. アクチュエータ $A_1 \sim A_{24}$ の負荷吸収機構

高度な脚式移動ロボットは、歩行やその他の脚式作業を例えば自立的に行なう。さらにうつ伏せや仰向けなどの床上姿勢からの起き上がり動作や、腕を利用した物体の把持・運搬といった動作を行なうことができる。他方、転倒や進行途上の物体との衝突、あるいは計画軌道上で異物の挟み込みなどによって、過大な負荷が関節アクチュエータに印加されるケースが想定される。このような過負荷によって、機体が破損したり、あるいは塑性変形を起こしてしまったりするなど、致命的な損傷を被ることがある。このため、関節アクチュエータを構成する各モータにおいて負荷吸収のための機構を採り入れることが重要である。

#### 【0122】

この項では、このロボット 1 の関節駆動に用いられる各アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  に搭

載された負荷吸収機能について説明する。

【0123】

本発明者らは、関節アクチュエータ用のモータに印加される負荷トルクを、衝突などによりリンクなどの部材の破壊に至る歪みエネルギーを被るインパルス的な、いわば「衝撃負荷」と、このような衝撃負荷ほど高いトルクではないが、比較的高い負荷トルクが一定時間以上継続して（すなわち定常的に）印加され部材の塑性変形を招来する、いわば「定常負荷」に大別して取り扱うことにした（図20を参照のこと）。後者の定常的な負荷トルク値は、例えば使用するモータのストール・トルク近傍、あるいは回路保護の限界などの閾値である。本発明者らは、衝撃負荷を負荷トルクのAC成分、定常負荷を負荷トルクのDC成分として位置付けている。

【0124】

定常負荷すなわち負荷トルクのDC成分に関しては、アクチュエータ・モータの出力軸に連結されたリンクに静的に印加される負荷トルクとアクチュエータ・モータ自身による発生トルクの絶対値の和に基づいて検出することができる。そして、そのトルク和が所定時間以上継続して塑性変形に至る閾値を越えたことに応答して、負荷のDC成分が過大であることを認識することができる。モータの発生トルクはモータ電流に比例するという性質から、モータ電流を電流－電圧変換することを経てトルクを計測することができる。

【0125】

例えば、図21に示すように、一端部がアクチュエータ110の出力軸111に連結されたリンク112の他端部（出力軸111から距離L1の位置）が壁や物体などに当たるなどしてリンク112が動かないように保持された状態になった時に当該リンク112の他端部に壁や物体から外力F1が与えられ、アクチュエータ110が新たに増えた負荷分のトルクを発生している場合を考える。

【0126】

この場合、アクチュエータ110が最初に発生している発生トルクを $T_{ORG}$ 、アクチュエータ110の出力軸111に与えられると当該アクチュエータ110が壊れる負荷トルクの値を $T_{BRK}$ として、アクチュエータ110に破損が生じない条件は、次式に示すように、外力F1による新たに増えた負荷トルクとアクチュエータ110の発生トルク $T_{ORG}$ との絶対値の和の値 $T_{out}$ が所定時間以上 $T_{BRK}$ を越えないことである。

【0127】

【数1】

$$F1 \times L1 + T_{OUT} \leq T_{BRK} \quad \dots (1)$$

【0128】

このような負荷トルク $T_{out}$ は、負荷のDC成分に相当し、以下では「静的な負荷トルク」とも呼ぶ。上式（1）より、次式を満たすようにアクチュエータ110の発生トルク $T_{out}$ を制御することによって、アクチュエータ110に破損が生じるのを未然に防止することができる。

【0129】

【数 2】

$$T_{OUT} \leq T_{BRK} - F1 \times L1 \quad \cdots (2)$$

【0130】

アクチュエータ 110 の発生トルク  $T_{out}$  は、アクチュエータ 110 へ供給するコイル電流として検出することができる。ここで、負荷トルクの閾値をコイル電流に置き換えた値を 2.5 A とし、この閾値が継続する時間の限界を 2.0 秒とし、図 25 にはトルクの検出結果を示している。継続して電流値をサンプリングする場合、チャタリングの問題がある。すなわち、実質的には 2.5 A を越える期間が 2.0 秒継続していても、チャタリングにより閾値を下回る度にカウンタがリセットされて、検出タイミングを逸しかねない。そこで、閾値を下回る期間が非常に短い（例えば 4.0 ミリ秒以内）であれば、これを無視して閾値以上であるとしてカウンタ実行を継続するようにしても良い。

【0131】

一方、衝撃負荷すなわち負荷の AC 成分に関しては、本発明者らは、モータの出力軸に与えられる運動エネルギーの変化量がモータに印加されるトルクと角速度の積に比例するという性質を導出した。またその運動エネルギーが出力軸部材に加わる歪みエネルギーとほぼ等しいという性質があるため、この性質を利用して運動エネルギー変化量に基づいて衝撃に対する負荷トルクを検出し、この負荷トルクが部材の破壊に至るような閾値を越えたことに応答して、負荷の AC 成分が過大であることを認識することができる。

【0132】

例えば、図 22 に示すように、リンク 112 の他端部出力軸 111 から距離  $L2$  の位置に物体が落下するなどして、この他端部にリンク 112 を回転させるような衝撃に対する負荷トルクが与えられた場合について考える。このような負荷トルクは、負荷の AC 成分に相当し、以下では「動的な負荷トルク」とも呼ぶ。

【0133】

このときのこの動的な負荷トルクによりリンク 112 に与えられる運動エネルギーを  $KE$ 、これにより回転するリンク 112 の回転角度を  $\phi$ 、リンク 112 の慣性モーメントを  $J$  とすると、これらは次式を満たす。

【0134】

【数 3】

$$K_E = \frac{1}{2} \times J \times \phi^2 \quad \cdots (3)$$

【0135】

そして、この運動エネルギー  $KE$  がすべて出力軸 111 を通してアクチュエータ 110 に伝わり、歪みエネルギーに変換されるものとして、その歪みエネルギーがアクチュエータ 110 において各部材の歪みとして吸収可能な弾性範囲内であればアクチュエータ 110 に破損が生じず、これに対して弾性範囲を越えて塑性範囲となるとアクチュエータ 110 に破損が生じることとなる。

## 【0136】

そこで、このように歪みエネルギーがアクチュエータ110における各部材の弾性範囲を越える大きさのものであったときに、アクチュエータ110の発生トルク $T_{out}$ を下げるように制御することにより、かかる動的な負荷トルクによる当該アクチュエータ110の破損を防止することができる。

## 【0137】

ここで、リンク112に与えられた動的な負荷トルクの運動エネルギー $K_E$ の変化量を検出するため上式(3)を時間 $t$ について1階微分すると、次式のようになる。

## 【0138】

## 【数4】

$$\frac{d}{dt}(K_E) = J \times \ddot{\phi} \times \dot{\phi} = \tau \times \dot{\phi} \quad \cdots (4)$$

## 【0139】

上式(4)において、 $T_{out}$ は前述の通りアクチュエータ110の出力トルクを表す。すなわち、エネルギーの変化量はモータに印加されるトルクと角速度の積に比例するので、エネルギー変化量に基づいて負荷トルクを検出し、この負荷トルクが部材の破壊に至る閾値を越えたことに応答して、負荷のAC成分が過大であることを認識することができる。

## 【0140】

ここで、負荷トルクのAC成分に関しては、インパルス的な性質を持つことから(図20を参照のこと)、瞬時に過負荷域に到達してしまい、負荷吸収動作が間に合わない、という可能性がある。上述したように、エネルギーの変化量がモータに印加されるトルクと角速度の積に比例するという性質に直接的に基づいた場合、トルクが過負荷域に到達するまで待たなければ過負荷を検出することができないが、これでは応答性に問題がある。

## 【0141】

そこで、単にエネルギーの変化量を計測するのではなく、エネルギーを時間軸上で2階微分して、変化量の傾きをみて、この傾きが所定値以上であれば過負荷域に到達することを予測し、応答性よく負荷吸収動作を実行する。上式(4)を時間軸上でさらに微分すると(すなわち、エネルギーに関する上式(3)を時間 $t$ で2階微分すると)、下式のようになる。

## 【0142】

## 【数5】

$$\frac{d^2}{dt^2}(K_E) = \dot{\tau} \times \dot{\phi} + \tau \times \ddot{\phi} \quad \cdots (5)$$

## 【0143】

上式(5)は、運動エネルギー $K_E$ の変化の加速度を表すものである。式(5)における右辺の演算結果がアクチュエータ110における各部材の弾性範囲から塑性範囲の境界と

なる所定の閾値以上となった場合に、アクチュエータ 110 の発生トルク  $T_{out}$  を下げるように制御することにより、アクチュエータ 110 の破損を未然に防止することができる。

【0144】

但し、上式 (5) 式における右辺第 2 項のような 2 次微分演算は演算処理が煩雑となる。また、本発明者らによる実験の結果、右辺第 2 項は演算結果への寄与が小さいことが判明している。そこで、式 (5) の右辺第 2 項を省略し、右辺の第 1 項に所定の比例定数  $G_k$  を乗算したものと近似し、次式に示す評価関数  $f(t)$  を導入することにする。

【0145】

【数 6】

$$f(t) = G_k \times \dot{t} \times \dot{\phi} \quad \dots (6)$$

【0146】

この評価関数  $f(t)$  の演算結果が上述の閾値以上となった場合に、アクチュエータ 110 の発生トルク  $T_{out}$  を下げるように制御することで、より容易な演算処理でアクチュエータ 110 の破損を未然に防止することができる。図 32 には、運動エネルギー  $K_E$  の変化量をみた場合と、評価関数  $f(t)$  を導入した場合における負荷吸収機構の応答特性を比較している。同図からも分かるように、後者の方が、発生トルクの低い段階で、しかもより応答性よく過負荷状態を検出することができる。

【0147】

制御基板 77 は、上述したような原理に基づいて、図 21 並びに図 22 を参照しながら説明した静的及び動的な負荷トルクによるアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の破損を防止するための負荷吸収手段として作用する。図 14 に示すように、制御基板 77 におけるプリント配線板の一面側には、駆動回路 81 に対する電源供給ライン  $LIN$  を流れる電流  $I_{R1}$  の大きさを電圧  $V_i$  として検出する電圧検出部 82 が設けられている。

【0148】

電圧検出部 82 は、駆動回路 81 に対する電源供給ライン  $LIN$  の一部に設けられた第 1 の抵抗  $R_1$  と、第 2 ～ 第 5 の抵抗  $R_2 \sim R_5$  及びオペアンプ 83 からなる差動増幅器 84 とから形成され、第 1 の抵抗  $R_1$  による降下電圧  $V_i$  を差動増幅器 84 において検出し、この検出結果を電圧検出信号  $S11$  として制御 IC 80 に送出する。

【0149】

電圧  $V_i$  は第 1 の抵抗  $R_1$  を流れる電流  $I_{R1}$  に比例し、また、電流  $I_{R1}$  は、上式 (1) の左辺に比例することから、この電圧  $V_i$  も上式 (1) 式の左辺に比例する。ここで、 $K_{Vi}$  を比例定数として次式が成り立つものとする。

【0150】

【数 7】

$$F1 \times L1 + T_{OUT} = K_{Vi} \times V_i \leq T_{BRK} \quad \dots (7)$$

【0151】

そして、常に次式を満足するように、PWM 制御部 91 を制御することによって、静的



な負荷トルクによるアクチュエータ・A<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>の破損を防止することができる。

【0152】

【数8】

$$V_i \leq \frac{T_{BRK}}{K_{Vi}} \quad \dots (8)$$

【0153】

図23には、制御IC80の演算処理部90が実行する、第1の負荷吸収処理手順RT1をフローチャートの形式で示している。演算処理部90は、同処理手順RT1に従って、電圧検出部82から供給される電圧検出信号S11を基に、電圧V<sub>i</sub>が、あらかじめ設定された所定の第1の閾値SH1（上式（8）のT<sub>BRK</sub>/K<sub>Vi</sub>）を超えないようにPWM制御部91を制御することにより、対応するリンクに静的な負荷トルクすなわち負荷のDC成分が与えられた場合のアクチュエータA<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>の破損を防止する。

【0154】

演算処理部90は、上述のような上位コントローラから与えられる動作指令COMに基づく対応するモータ部60に対する位置制御と並行してこの第1の負荷吸収処理手順RT1をステップSP0において開始し、続くステップSP1において、電圧検出部82から与えられる電圧検出信号S11に基づき得られる電圧V<sub>i</sub>が第1の閾値SH1以上となったか否かを判断する。そして演算処理部90は、このステップSP1において否定結果を得ると、肯定結果を得るまでこのステップSP1を繰り返す。

【0155】

そして、演算処理部90は、この後対応するリンクが壁や外部物体に当たるなどして当該リンクに静的な負荷トルクが与えられることによりステップSP1において肯定結果を得ると、ステップSP2に進んでPWM制御部91を制御してBRAKE\_\_PWM制御信号S14のデューティ比を0[mN・m/(rad/s)]に変更させることにより対応するモータ部60のコンプライアンスを増加させ、続くステップSP3において、モータ部60の各コイル68u、68v、68wに流れる電流の実行値が小さくなるようにPWM制御部91を制御し、発生トルクT<sub>out</sub>が小さくなるようにする。

【0156】

続いて、演算処理部90は、ステップSP4に進んで、上位コントローラに対して負荷吸収処理（ステップSP2及びステップSP3）を実行した旨を通知し、この後ステップSP5に進んで、上位コントローラからその衝撃吸収処理を解除すべき旨の通知があるのを待ち受ける。

【0157】

そして、演算処理部90は、やがて上位コントローラからこの通知を受けることによりステップSP5において肯定結果を得ると、ステップSP6に進んで、PWM制御部91を制御してBRAKE\_\_PWM制御信号S14のデューティ比、すなわちモータ粘性係数を元の値に戻させることによりモータ部60のコンプライアンスを衝撃検出前の状態に戻した後、ステップSP7に進んで、モータ部60の各コイル68u、68v、68wに印加する駆動電流I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>、I<sub>w</sub>の実効値を元に戻すようにPWM制御部91を制御し、発生トルクT<sub>out</sub>が所定の値をとるようにする。そして演算処理部90は、その後ステップSP1に戻り、同様の処理繰り返す。

【0158】

このようにして、演算処理部90は、対応するリンクに静的な負荷トルクが与えられた

ときに、これに応じて対応するアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  におけるモータ部 60 のモータ粘性係数及び発生トルク  $T_{out}$  を制御する。

【0159】

一方、上式 (6) において、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の出力トルク  $\tau$  は、電圧検出部 82 における抵抗  $R_1$  を流れる電流  $I_{R1}$  に比例し、また電流  $I_{R1}$  は、上述のように第 1 の抵抗  $R_1$  による降下電圧  $V_i$  と比例することから、比例定数を  $K_i$ 、 $K_\theta$  として、式 (6) を次式のように変形することができる。

【0160】

【数 9】

$$\begin{aligned} f(t) &= G_k \times \dot{\tau} \times \dot{\phi} = G_k \times \frac{d\tau}{dt} \times \frac{d\phi}{dt} \\ &= K_i \times \frac{dV_i}{dt} \times K_\theta \times \frac{d\phi}{dt} \end{aligned} \quad \dots (9)$$

【0161】

上式 (9) から明らかなように、上式 (6) で与えられる評価関数  $f(x)$  の時々刻々の値は、電圧検出部 82 により検出される電圧  $V_i$  の時間的変化量に比例定数  $K_i$  を乗算した乗算結果と、エンコーダ 76 により検出されるモータ部 60 のロータ軸 64 の回転位置  $\phi$  の時間的変化量に比例定数  $K_\theta$  を乗算した乗算結果との積として求めることができる。

【0162】

図 24 には、制御 IC 80 内の演算処理部 90 が実行する、第 2 の負荷吸収処理手順 RT2 をフローチャートの形式で示している。演算処理部 90 は、この処理手順 RT2 に従って、電圧検出部 82 から与えられる電圧検出信号 S11 に基づき得られる電圧  $V_i$  と、エンコーダ 76 から与えられる第 1 及び第 2 の位置検出信号 S10A、S10B から得られるモータ部 60 のロータ軸 64 の回転位置  $\phi$  に基づいて、評価関数  $f(t)$  があらかじめ設定された所定の第 2 の閾値 SH2 を超えないように PWM 制御部 91 を制御することにより、対応するリンクに動的な負荷トルクすなわち負荷の AC 成分が与えられた場合のアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の破損を防止する。

【0163】

演算処理部 90 は、第 1 の負荷吸収処理手順 RT1 と並行して第 2 の負荷吸収処理手順 RT2 をステップ SP10 において開始する。続くステップ SP11 において、電圧検出部 82 からの電圧検出信号 S11 及びエンコーダ 76 からの位置検出信号 S10A、S10B に基づいて上式 (9) の演算処理を実行するとともに、この演算結果が第 2 の閾値 SH2 以上となったか否かを判断する。なお、上式 (9) における  $K_i$  は 1.0、 $K_\theta$  は 4.0 に設定されており、また第 2 の閾値 SH2 は実験結果より最適と考えられる 1.3 ~ 4.0 [mN-m · rad/S<sup>2</sup>] の範囲で設定されている。そして、演算処理部 90 は、肯定結果を得るまでこのステップ SP11 を繰り返す。

【0164】

そして、演算処理部 90 は、やがて対応するリンクが衝撃を受けることによりステップ S P 1 1 において肯定結果を得ると、ステップ S P 1 2 に進んで、PWM 制御部 91 を制御して B R A K E \_ P W M 制御信号 S 1 4 のデューティ比を  $0 \text{ [mN-m / (rad/s)]}$  に変更させることによりモータ部 60 のコンプライアンスを増加させる。続くステップ S P 1 3 において、上位コントローラからの動作指令等に基づき算出される目標トルクの最大値を本来算出される値の  $10 \sim 20 \text{ [%]}$  となるように PWM 制御部 91 を制御して発生トルク  $T_{out}$  を発生させる。

#### 【0165】

続いて、演算処理部 90 は、ステップ S P 1 4 に進んで、上位コントローラに対して負荷吸収処理（ステップ S P 1 2 及びステップ S P 1 3）を実行した旨を通知する。その後、ステップ S P 1 5 に進んで、上位コントローラからその衝撃吸収処理を解除すべき旨の通知があるのを待ち受ける。

#### 【0166】

そして、演算処理部 90 は、やがて上位コントローラからこの通知を受けることによりステップ S P 1 5 において肯定結果を得ると、ステップ S P 1 6 に進んで、PWM 制御部 91 を制御して B R A K E \_ P W M 制御信号 S 1 4 のデューティ比、すなわちモータ粘性係数を元の値に戻させることにより、モータ部 60 のコンプライアンスを衝撃検出前の状態に戻す。その後、ステップ S P 1 7 に進んで、モータ部 60 の各コイル 68 u、68 v、68 w に印加する駆動電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  の実効値を元に戻すように PWM 制御部 91 を制御し、発生トルク  $T_{out}$  を所定の値に戻す。そして演算処理部 90 は、この後ステップ S P 1 1 に戻り、この後は同様の処理繰り返す。

#### 【0167】

このようにして、演算処理部 90 は、対応するリンクに動的な負荷トルクが与えられたときに、これに応じて対応するアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  におけるモータ部 60 のモータ粘性係数及び発生トルクを制御する。

#### 【0168】

以上の構成において、このロボット 1 では、各アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の出力軸 75 と連結されたリンクに対してアクチュエータが破壊するおそれのある静的又は動的な負荷トルクが与えられた場合、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  のコンプライアンスが向上するとともに、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の出力トルクが下がることにより、負荷トルクに応じて倣うようにそのリンクが変位する。

#### 【0169】

例えば図 33 に示した従来のトルク・リミッタ 130 を用いた場合と同様に衝撃によるアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の破損を未然に防止することができる一方、かかる負荷吸収が電氣的なアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  に対する制御のみによって行なわれる。従来のメカ的な構成を有するトルク・リミッタ 130 を用いる場合に比べ、本発明に係る負荷吸収に関するアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の特性に大きなばらつきは生じ難く、また温度による影響も少ない。

#### 【0170】

また、かかる負荷吸収の制御をアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の通常の位置制御を行なう制御 I C 80 により併せて行なうことができる。すなわち、新たな部品を必要としないため、従来のメカ的な構成を有するトルク・リミッタ 130 を用いる場合に比してアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  全体としての構成を簡易化及び小型軽量化させることができる。

#### 【0171】

以上の構成によれば、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の出力軸 75 に連結されたリンクに新たに与えられた静的な負荷トルクと、アクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  の発生トルクとの絶対値の和を電圧  $V_i$  として検出し、当該和分が所定の第 1 の閾値 S H 1 以上となったときに、発生トルクを下げるようにアクチュエータ  $A_1 \sim A_{24}$  を制御する。一方、当該リンクに与えられた動的な負荷トルクのエネルギー変化量を検出し、検出したエネルギー変化量が所定の第 2 の閾値 S H 2 以上となったときに、発生トルクを下げるようにアクチュエータ  $A_1 \sim$

A<sub>24</sub>を制御する。従来のメカ的な構成を有するトルク・リミッタ130を用いる場合に比べ、本発明に係る負荷吸収に関するアクチュエータA<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>の特性に大きなばらつきは生じ難く、また温度による影響も少なくすることができ、使い勝手の良い負荷吸収装置を構築することができる。

#### 【0172】

また、本発明に係る負荷吸収装置を構築したことにより、従来のメカ的な構成を有するトルク・リミッタ130を用いる場合に比し、アクチュエータA<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>全体すなわちシステム全体としての構成を簡易化及び小型軽量化させることができる。

#### 【0173】

#### E. ロボット全体での負荷吸収機構

上述したようなアクチュエータA<sub>1</sub>～A<sub>24</sub>の負荷吸収機構によれば、アクチュエータ・モータ単軸に対して過負荷が印加された場合には、負荷のAC成分並びにDC成分を好適に吸収し、モータや、モータの出力軸に印加されたリンクなどの部材の破損を回避し、被害が他の部材へと拡大するのを防止することができる。

#### 【0174】

他方、脚式移動ロボットを始めとする多関節型ロボットは、関節アクチュエータ用の複数のモータと、これらモータの出力軸に連結されたリンクで構成される。このような場合、各モータ単体では過負荷を回避した状態であっても、複数のモータの総体で判断すると過負荷状態に陥っている場合も想定される。このような場合には、モータ毎の負荷吸収動作とは別に、機体全体としての負荷回避オペレーションが必要であると思料される。

#### 【0175】

そこで、本実施形態に係るロボット1においては、個々のアクチュエータ・モータ単体での静的並びに動的な負荷トルクの吸収を実行するのに並行して、2以上のモータにおける負荷状態の合計が過負荷状態かどうかを監視し、モータ単体では過負荷状態ではなくても、腕部や脚部などの所定の部位単位、あるいは機体全体として過負荷状態に陥っているかどうかを検出することができる。

#### 【0176】

そして、複数のモータの合計として過負荷が検出された場合には、モータ単体としての負荷吸収動作ではなく、機体全体として過負荷状態を取り除く機体保護オペレーションを実行する。ここで言う機体保護オペレーションとしては、例えば、該当するモータ群又は機体全体のモータへの電源遮断や、該当するモータ群又は機体全体のモータの脱力などが挙げられる。モータの脱力は、発生トルクをゼロにしたり、ゲイン調整などによりモータの粘性抵抗を低減したりすることにより実現する。

#### 【0177】

例えば、ロボット1がうつ伏せの状態から起き上がろうとする動作の途上で、図26に示すように、両脚が図中破線で示した障害物に接触し、そのまま動作を続けると実線矢印の方向に反力が加わる。この結果、右肩ピッチ、右腿ロール、右腿ピッチ、右足首ピッチの部位に負荷が加わる。このとき、各軸単軸では破損に至る負荷にはならないが、機体そのもののフレーム部分の塑性変形やカバー部分の破損に至る場合がある。

#### 【0178】

このような状態を検知するために、各関節単軸のアクチュエータ負荷を消費する電流を検知することで検出し、それらを上位制御系で合計して機体全体の総合負荷として監視する。

#### 【0179】

より具体的に説明するならば、各モータ単軸での負荷トルクTは、上式(7)により $T = K_{vi} \cdot V_i$ すなわちモータへの印加電圧により監視されている。したがって、k番目のアクチュエータA<sub>k</sub>(但し、本実施形態では $1 \leq k \leq 24$ )とし、その負荷トルクをT<sub>k</sub>とすると、負荷トルク機体全体での負荷トルクの合計T<sub>sum</sub>は下式で表される。

#### 【0180】

【数 10】

$$T_{sum} = \sum_{k=1}^{24} T_k \quad \dots (10)$$

【0181】

図 26 に示すようにうつ伏せ姿勢から両手を床に着いて起き上がる動作を行なう場合には、左右の肩関節ピッチ軸アクチュエータ A<sub>5</sub> 及び A<sub>9</sub>、左右の股関節ロール軸 A<sub>14</sub> 及び A<sub>20</sub>、股関節ピッチ軸 A<sub>15</sub> 及び A<sub>21</sub>、左右の足首関節ロール軸 A<sub>17</sub> 及び A<sub>23</sub> に大きな負荷がかかり、上式 (10) は以下のように表される。そして、残りの関節アクチュエータにおける負荷トルクの合計 O (T<sub>k</sub>) を無視することができる。

【0182】

【数 11】

$$\begin{aligned} T_{sum} &= \sum_{k=1}^{24} T_k \quad \dots (11) \\ &= (T_5 + T_9 + T_{14} + T_{20} + T_{15} + T_{21} + T_{17} + T_{23}) + O(T_k) \end{aligned}$$

【0183】

そして、その総合負荷の値 T<sub>sum</sub> が設定した閾値を一定時間以上超えた場合、機体の破損を回避するために、シャットダウンなどの機体保護シーケンスに入る。

【0184】

図 27 には、アクチュエータ・モータ単軸での衝撃負荷並びに定常負荷の検出、複数軸における過大な負荷の検出、並びにそれぞれの負荷検出に応答した機体保護オペレーションを行なうための処理手順をフローチャートの形式で示している。

【0185】

まず、ある関節単軸において、破損に至る衝撃負荷が印加されたかどうかをチェックする (ステップ S1)。アクチュエータに衝撃負荷が印加されたかどうかは、上式 (6) に示した評価関数 f (t) を用いて判別することができる。

【0186】

ここで、あるアクチュエータに衝撃負荷が印加されたことが判明した場合には、当該アクチュエータ内の負荷吸収機構が作動し、過負荷状態の回避を試みる (ステップ S2)。より具体的には、制御 IC80 内の演算処理部 90 が図 24 に示した負荷吸収処理手順 RT2 を実行し、評価関数 f (t) が第 2 の閾値 SH2 を超えないように、モータ電流 I<sub>R1</sub> を PWM 制御する。

【0187】

そして、演算処理部 90 は、ロボット 1 の運動制御を行なうミドルウェア層 (図 6 を参照のこと) に負荷吸収動作を通知する (ステップ S3)。

【0188】

ここで、過負荷状態を回避できた場合には (ステップ S4)、姿勢・状態の復帰シーケンスに入る (ステップ S5)。

**【0189】**

図28には、アクチュエータに衝撃負荷が印加されたときの負荷吸収動作並びに復帰動作を行なうためのソフトウェア上のオペレーションを模式的に図解している。

**【0190】**

アクチュエータ内で衝撃負荷が印加されたことを検出すると（S1）、アクチュエータ内の負荷吸収機構（図24を参照のこと）が作動し、モータ電流をPWM制御してモータの粘性係数を調整しながら過負荷状態の解消を試みる（S2）。そして、アクチュエータ内の演算制御部90は、負荷吸収機構を作動させたことを、上位ソフトウェアすなわちミドルウェア層に通知する（S3）。ミドルウェア層は、過負荷状態を回避できたと判断した場合には（S4）、制御をアクチュエータに戻す（S5）。アクチュエータ側では、姿勢・状態の復帰シーケンスに入り、モータの粘性係数を元の値に戻す。

**【0191】**

再び図27に戻って、負荷検出並びに機体保護オペレーションについて説明する。今度は、ある関節単軸において、破損に至る定常負荷が印加されたかどうかをチェックする（ステップS6）。アクチュエータに衝撃負荷が印加されたかどうかは、上式（2）を用いて判別することができる。

**【0192】**

ここで、あるアクチュエータに定常負荷が印加されたことが判明した場合には、当該アクチュエータ内の演算処理部90は、ロボット1の運動制御を行なうミドルウェア層（図6を参照のこと）に過負荷状態を通知する（ステップS7）。

**【0193】**

ミドルウェア層は、過負荷状態に通知に応答して、当該アクチュエータ・モータのサーボ・ゲインの低下を指示する（ステップS8）。

**【0194】**

ここで、過負荷状態を回避できた場合には（ステップS4）、姿勢・状態の復帰シーケンスに入る（ステップS5）。

**【0195】**

図29には、アクチュエータに衝撃負荷が印加されたときの負荷吸収動作並びに復帰動作を行なうためのソフトウェア上のオペレーションを模式的に図解している。

**【0196】**

アクチュエータ内で衝撃負荷が印加されたことを検出すると（S6）、上位ソフトウェアすなわちミドルウェア層に通知する（S7）。ミドルウェア層では、アクチュエータのサーボ・ゲインの低下を指示する（S8）。そして、ミドルウェア層は、過負荷状態を回避できたと判断した場合には（S4）、制御をアクチュエータに戻す（S5）。アクチュエータ側では、姿勢・状態の復帰シーケンスに入り、モータのサーボ・ゲインを元の値に戻す。

**【0197】**

再び図27に戻って、負荷検出並びに機体保護オペレーションについて説明する。今度は、2以上の関節において同時に負荷が印加されたことにより過負荷状態に陥ったかどうかをチェックする（ステップS9）。具体的には、モータの印加電圧に基づいて監視される各アクチュエータの負荷トルク値の合計を表した上式（10）又は（11）に基づいて判断する。複数のモータの合計として過負荷が検出される状況として、例えば、ロボット1がうつ伏せの状態から起き上がろうとする動作の途上で両脚が障害物に接触し、そのまま動作を続けると反力が加わる場合（図26を参照のこと）が想定される。

**【0198】**

ここで、過負荷状態が検出されると、ミドルウェア層の運動制御系を通じて機体保護モジュール部に通知し（ステップS10）、機体保護オペレーションを起動する（ステップS11）。機体保護オペレーションとして、例えば、全身又は該当する部位のアクチュエータ・モータの電源を遮断し、関節を脱力させるなどを行なう。

**【0199】**

図30には、複数の関節軸における過負荷状態を検出し、機体保護動作を行なうためのミドルウェア層内の構成を模式的に示している。同図に示すように、ミドルウェア層内には、負荷監視モジュール部と機体保護モジュール部が配設されている。

#### 【0200】

負荷監視モジュール部は、複数のアクチュエータ・モータ $A_1 \sim A_{24}$ から負荷状態（例えば、負荷トルクに相当する電圧検出値 $V_i$ ）を同時並行して入力し、これらの合計値に基づいて機体全体についての負荷状態を検出する。

#### 【0201】

また、機体保護モジュール部は、負荷監視モジュール部において過負荷状態が検出されたことに応答して起動し、機体保護オペレーションを実行する。例えば、全身又は該当する部位のアクチュエータ・モータの電源を遮断し、関節を脱力させるなどを行なう。

#### 【0202】

また、図31には、複数の関節軸における過負荷状態が検出されたときの負荷吸収動作並びに復帰動作を行なうためのソフトウェア上のオペレーションを模式的に図解している。

#### 【0203】

ミドルウェア層内では、負荷監視モジュール部が複数の関節軸における過負荷状態を検出すると（S9）、機体保護モジュール部に通知する（S10）。機体保護モジュール部は、これに応答して、機体保護オペレーションを実行する（S11）。例えば、全身又は該当する部位のアクチュエータ・モータの電源を遮断し、関節を脱力させるなどを行なう。

#### 【0204】

[追補]

以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。

#### 【0205】

本発明の要旨は、必ずしも「ロボット」と称される製品には限定されない。すなわち、電氣的若しくは磁氣的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行なう機械装置あるいはその他一般的な移動体装置であるならば、例えば玩具などのような他の産業分野に属する製品であっても、同様に本発明を適用することができる。

#### 【0206】

本明細書では、本発明を図1～図5について2足歩行型のロボット1に適用するようにした場合について述べたが、本発明の要旨はこれに限定されるものではなく、この他種々のロボット装置、あるいはロボット装置以外の可動部の動力源としてサーボ・モータを用いるこの他種々の装置に広く適用することができる。

#### 【0207】

また、本明細書では、アクチュエータ $A_1 \sim A_{24}$ の出力軸75に連結されたリンクに新たに与えられた静的な負荷トルクと、アクチュエータ $A_1 \sim A_{24}$ の発生トルクとの絶対値の和を検出し、この和分が所定の第1の閾値以上となったときに、発生トルクを下げるようにモータを制御する制御手段とを、上位コントローラからの動作指令COMに基づいて当該アクチュエータ $A_1 \sim A_{24}$ の位置制御を行なう制御IC80により構成するようにした場合について述べたが、本発明の要旨はこれに限らず、かかる和分検出手段及び制御手段を制御IC80とは別個に設けるようにしても良い。

#### 【0208】

また、本明細書では、アクチュエータ $A_1 \sim A_{24}$ の出力軸75に連結されたリンクに与えられた動的な負荷トルクのエネルギー変化量を検出するエネルギー変化量検出手段と、エネルギー変化量検出手段により検出されたエネルギー変化量が所定の閾値以上となったときに、発生トルクを下げるようにモータを制御する制御手段とを、上位コントローラからの動作指令COMに基づいて当該アクチュエータ $A_1 \sim A_{24}$ の位置制御を行う制御IC80によ

り構成するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、かかるエネルギー変化量検出手段及び制御手段を制御 IC 80 とは別個に設けるようにしても良い。

#### 【0209】

また、本明細書では、上式 (9) における比例定数  $K_i$  を 1.0、比例定数  $K_\theta$  を 4.0 に設定し、第 2 の閾値  $SH2$  を実験結果より最適と考えられる 1.3~4.0 [mNm·rad/S<sup>2</sup>] の範囲で設定するようにした場合について述べたが、本発明の要旨はこれに限らず、これら各比例定数  $K_i$ 、 $K_\theta$  の値や、第 2 の閾値  $SH2$  の値としては、対応するアクチュエータの構造等に応じてこの他種々の値を適用することができる。

#### 【0210】

また、本明細書では、駆動回路 81 に対する電源供給ライン LIN を流れる電流  $I_{R1}$  の大きさを電圧  $V_i$  として検出し、当該検出した電圧  $V_i$  に基づいてアクチュエータ A1~A<sub>24</sub> の出力軸 75 に連結されたリンクに与えられた静的な負荷トルクや、動的な負荷トルクのエネルギー変化量を検出するようにした場合について述べたが、本発明の要旨はこれに限らず、要は、これら静的な負荷トルク及び動的な負荷トルクのエネルギー変化量を確実に検出できるのであれば、その検出方法としては駆動回路 81 に対する電源供給ライン LIN を流れる電流  $I_{R1}$  に基づくものでなくても良い。

#### 【0211】

要するに、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、本明細書の記載内容を限定的に解釈するべきではない。本発明の要旨を判断するためには、冒頭に記載した特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0212】

【図 1】 図 1 は、本実施の形態によるロボット 1 の外部構成を示した斜視図である。

【図 2】 図 2 は、ロボット 1 の外部構成を示した斜視図である。

【図 3】 図 3 は、ロボット 1 の外部構成を説明するための略線図である。

【図 4】 図 4 は、ロボット 1 の内部構成の説明するためのブロック図である。

【図 5】 図 5 は、ロボット 1 の内部構成の説明するためのブロック図である。

【図 6】 図 6 は、ロボット 1 上で稼動するソフトウェア制御構成を模式的に示した図である。

【図 7】 図 7 は、ミドルウェア層の内部構成を模式的に示した図である。

【図 8】 図 8 は、アプリケーション層の内部構成を模式的に示した図である。

【図 9】 図 9 は、アクチュエータ A1~A<sub>24</sub> の内部構成を示した図である。

【図 10】 図 10 は、ロータ軸 64 及びロータ軸磁極角度センサの構成を示した図である。

【図 11】 図 11 は、ロータ 66 及びステータス鉄心 67A~67F の位置関係を示した図である。

【図 12】 図 12 は、トルク増幅部 61 の構成を示した図である。

【図 13】 図 13 は、制御基板 77 の構成を示した図である。

【図 14】 図 14 は、制御基板 77 の構成を示した図である。

【図 15】 図 15 は、制御 IC 80 及び駆動回路 81 の構成を示した図である。

【図 16】 図 16 は、コイルの終端をオープン状態並びに短絡状態にした場合におけるコイル電流の過渡応答特性を示した図である。

【図 17】 図 17 は、BRAKE\_\_PWM 制御信号の波形例を示した図である。

【図 18】 図 18 は、付加論理回路 92 の具体的構成を示した図である。

【図 19】 図 19 は、BRAKE\_\_PWM 制御信号 S14 のデューティ比とモータ部 60 の粘性係数の関係を示した図である。

【図 20】 図 20 は、アクチュエータに印加される負荷トルクの AC 成分と DC 成分を示した図である。

【図 21】 図 21 は、本発明に係る負荷吸収のメカニズムを説明するための図である。



【図 2 2】図 2 2 は、本発明に係る負荷吸収のメカニズムを説明するための図である。

【図 2 3】図 2 3 は、制御 IC 8 0 の演算処理部 9 0 が実行する、第 1 の負荷吸収処理手順 RT 1 を示したフローチャートである。

【図 2 4】図 2 4 は、制御 IC 8 0 の演算処理部 9 0 が実行する、第 2 の負荷吸収処理手順 RT 1 を示したフローチャートである。

【図 2 5】図 2 5 は、トルクの検出結果の例を示した図である。

【図 2 6】図 2 6 は、ロボット 1 がうつぶせの状態から起き上がろうとする動作の途上で、両脚で異物を挟み込む様子を示した図である。

【図 2 7】図 2 7 は、アクチュエータ・モータ単軸での衝撃負荷並びに定常負荷の検出、複数軸における過大な負荷の検出、並びにそれぞれの負荷検出に応答した機体保護オペレーションを行なうための処理手順を示したフローチャートである。

【図 2 8】図 2 8 は、アクチュエータに衝撃負荷が印加されたときの負荷吸収動作並びに復帰動作を行なうためのソフトウェア上のオペレーションを模式的に示した図である。

【図 2 9】図 2 9 は、アクチュエータに定常負荷が印加されたときの負荷吸収動作並びに復帰動作を行なうためのソフトウェア上のオペレーションを模式的に示した図である。

【図 3 0】図 3 0 は、複数の関節軸における過負荷状態を検出し、機体保護動作を行なうためのミドルウェア層内の構成を模式的に示した図である。

【図 3 1】図 3 1 は、複数の関節軸における過負荷状態を検出し、負荷吸収動作並びに復帰動作を行なうためのソフトウェア上のオペレーションを模式的に示した図である。

【図 3 2】図 3 2 は、運動エネルギー  $K_E$  の変化量をみた場合と、評価関数  $f(t)$  を導入した場合における負荷吸収機構の応答特性の比較を示したチャートである。

【図 3 3】図 3 3 は、従来のロボットにおける可動部の駆動の説明に供する概念図である。

【図 3 4】図 3 4 は、従来のトルク・リミッタの構成を簡略的に示す概念図である。

【符号の説明】

【0213】

1…ロボット

60…モータ部

61…トルク増幅部

62…モータ・ケース

64…ロータ軸

68、68u、68v、68w…コイル

75…出力軸

76…エンコーダ

80…制御 IC

81…駆動回路

82…電圧検出部

90…演算処理部

91…PWM制御部

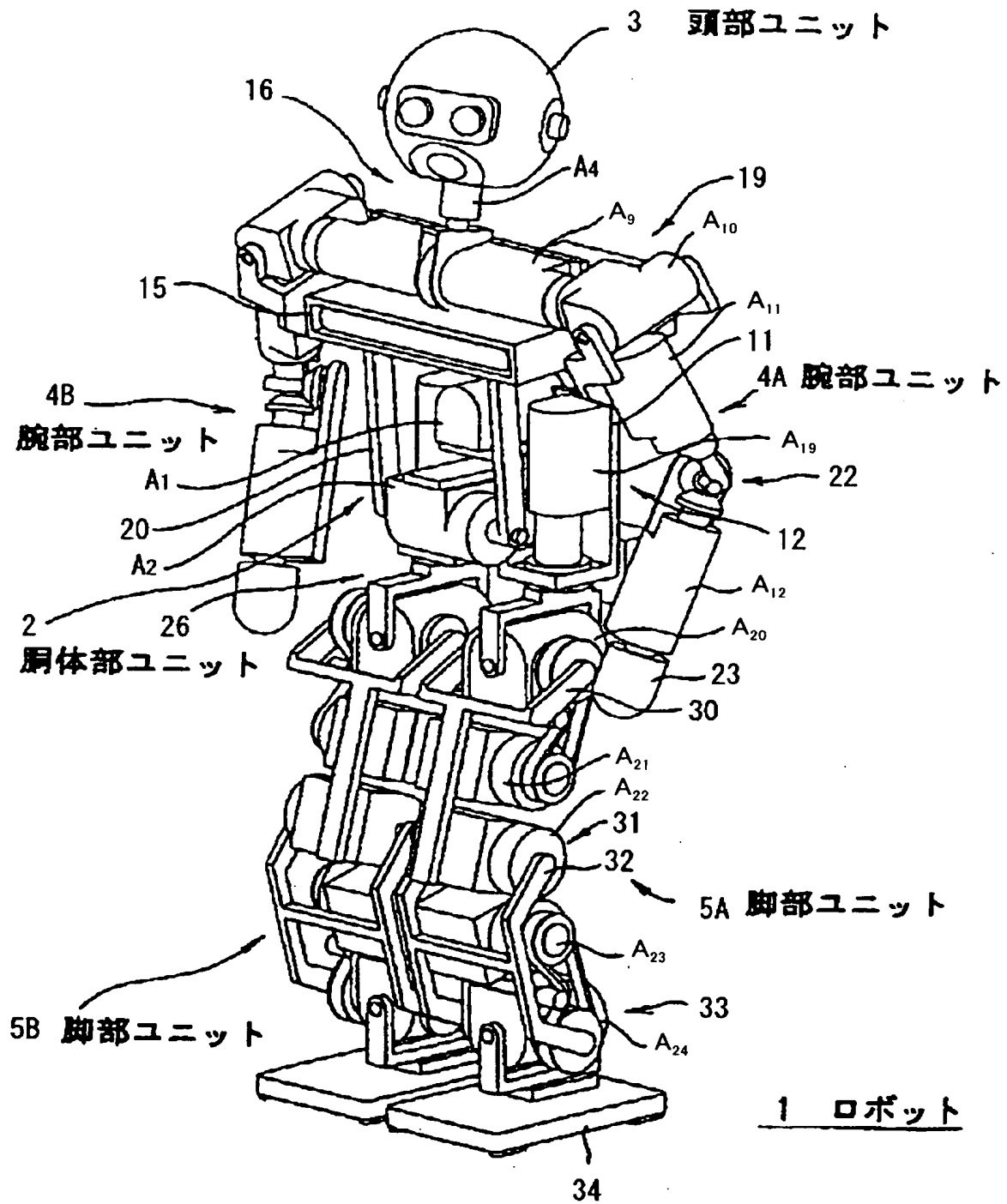
92…付加理論回路

RT1…第1の衝撃吸収処理手順

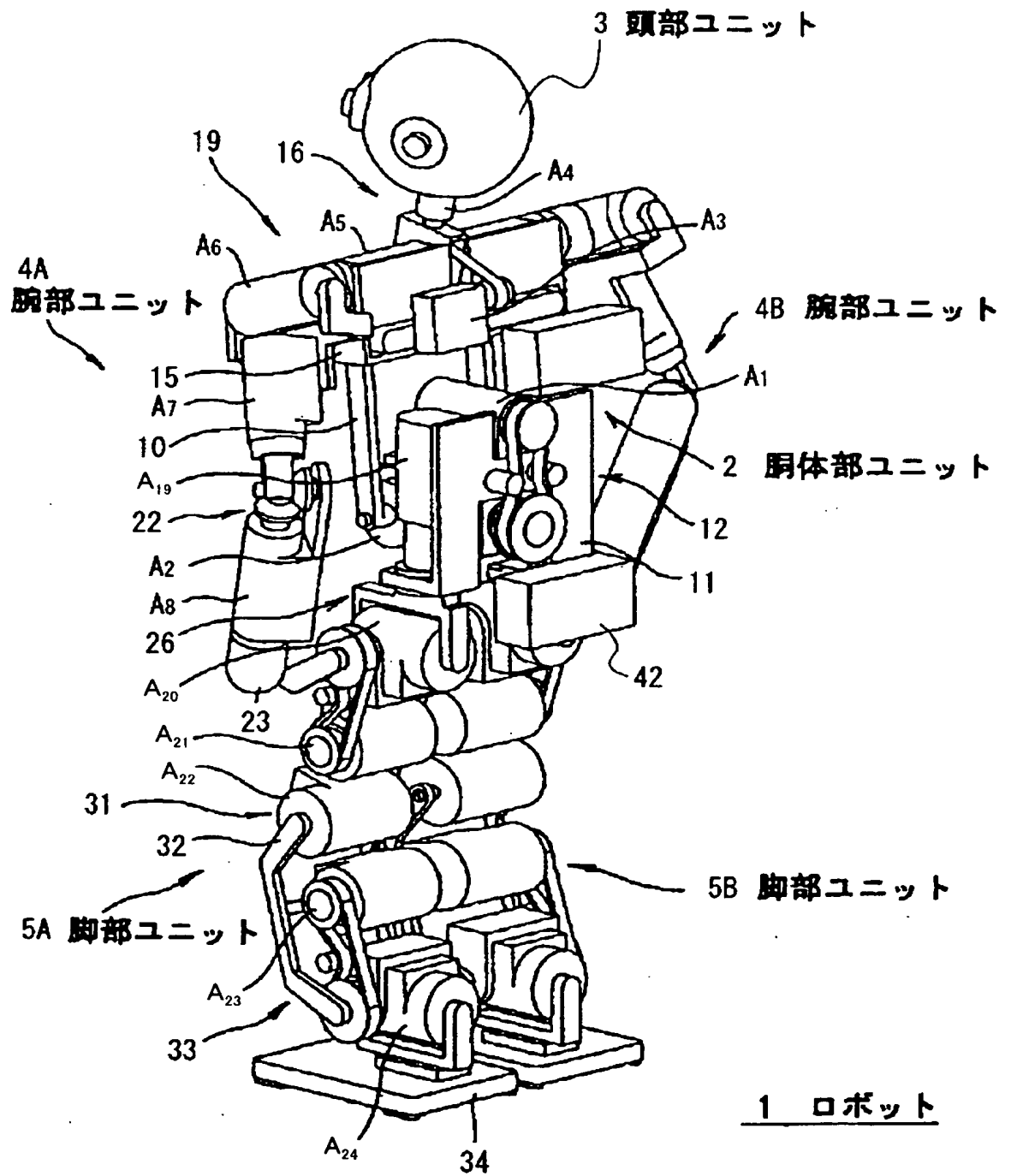
RT2…第2の衝撃吸収処理手順

【書類名】 図面

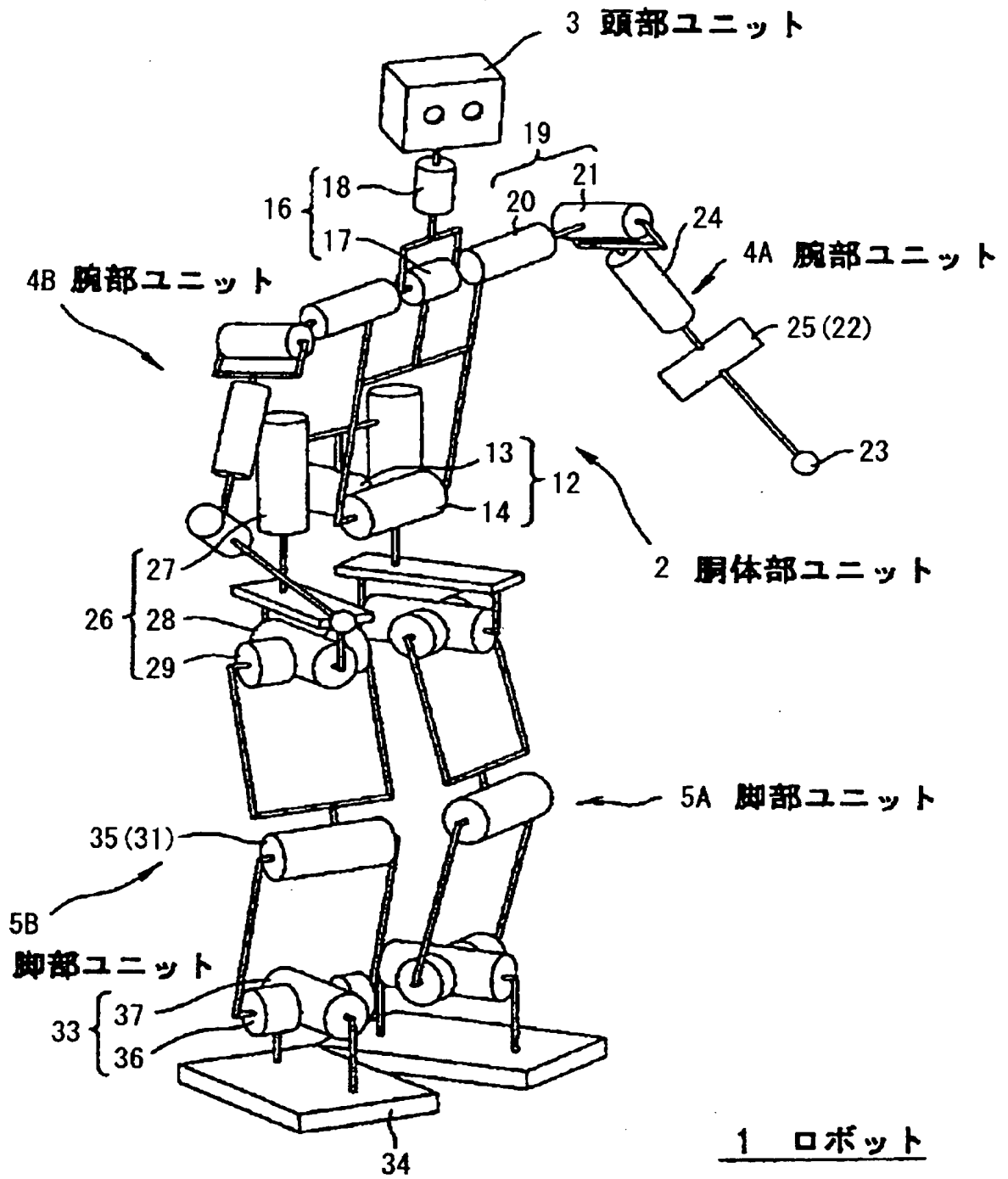
【図 1】



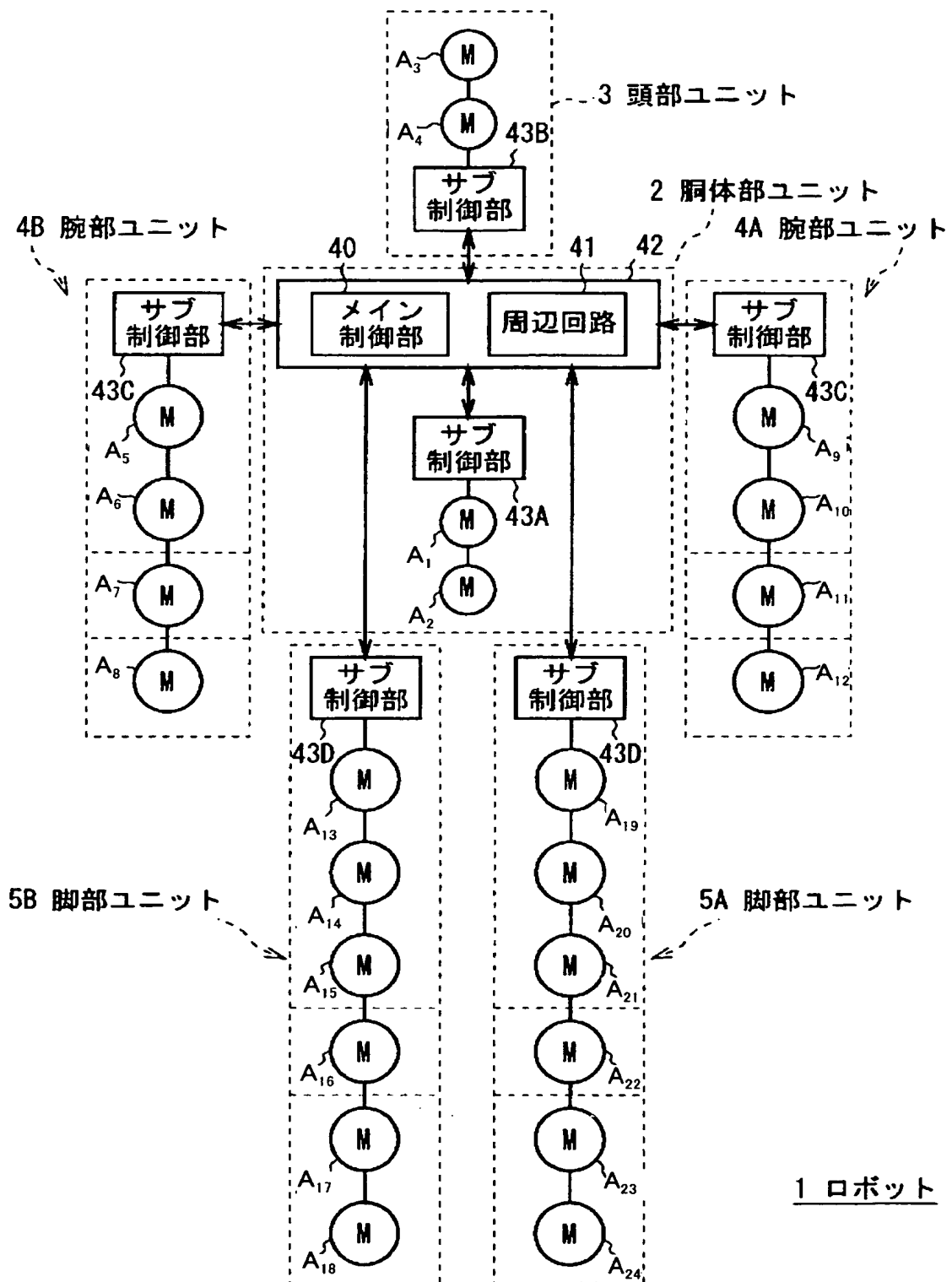
【図 2】



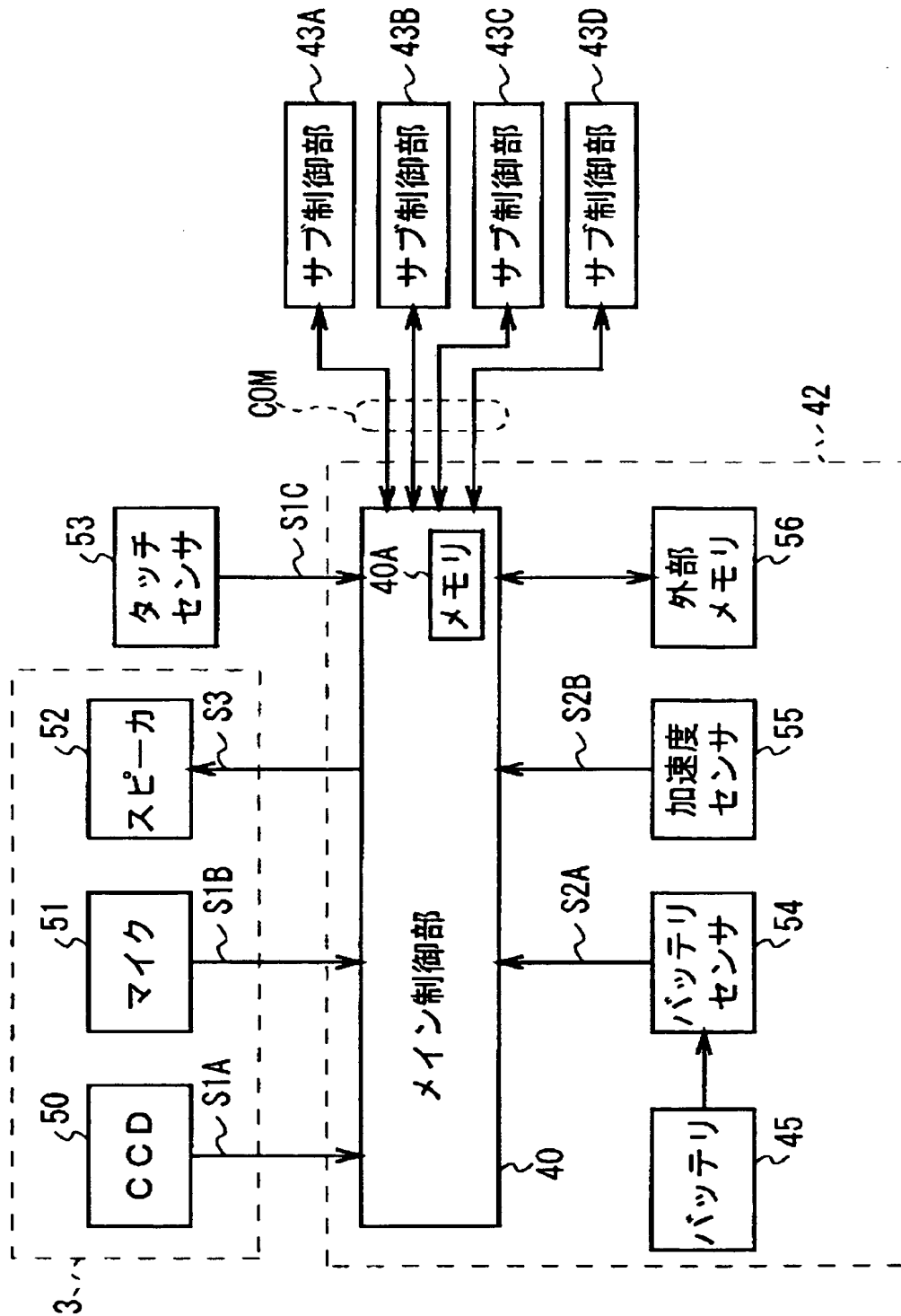
【図 3】



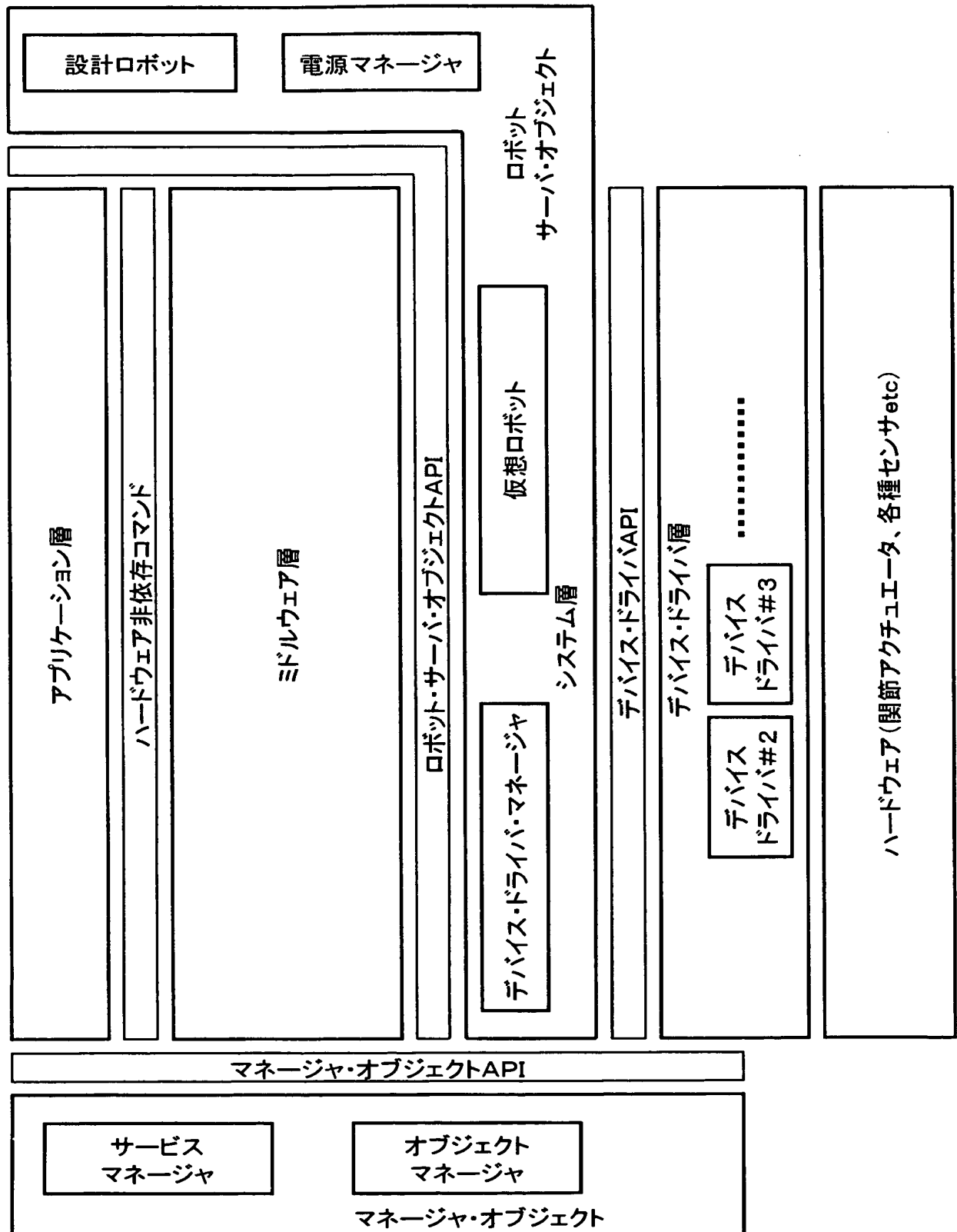
【図 4】



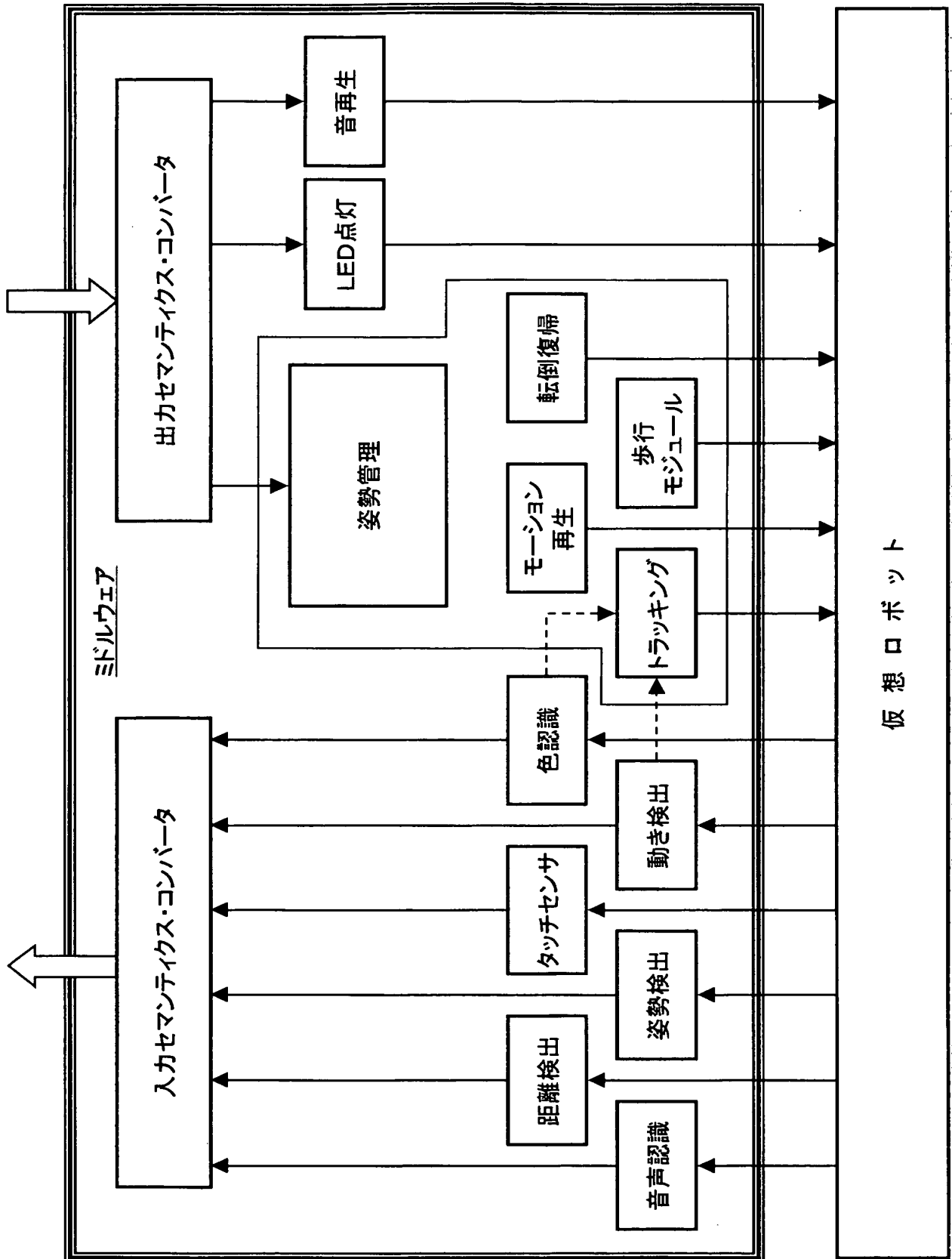
【図 5】



【図 6】

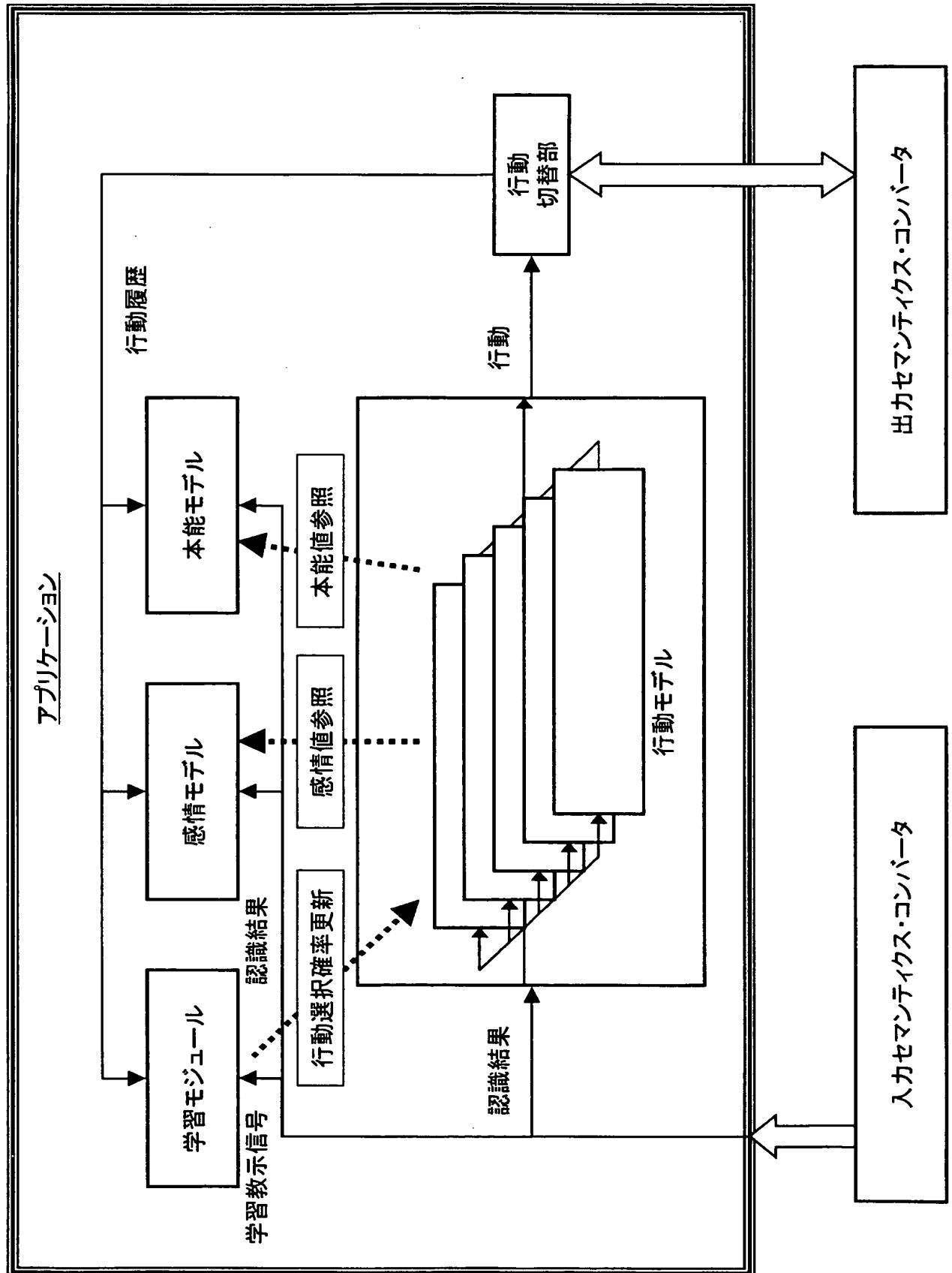


【図 7】

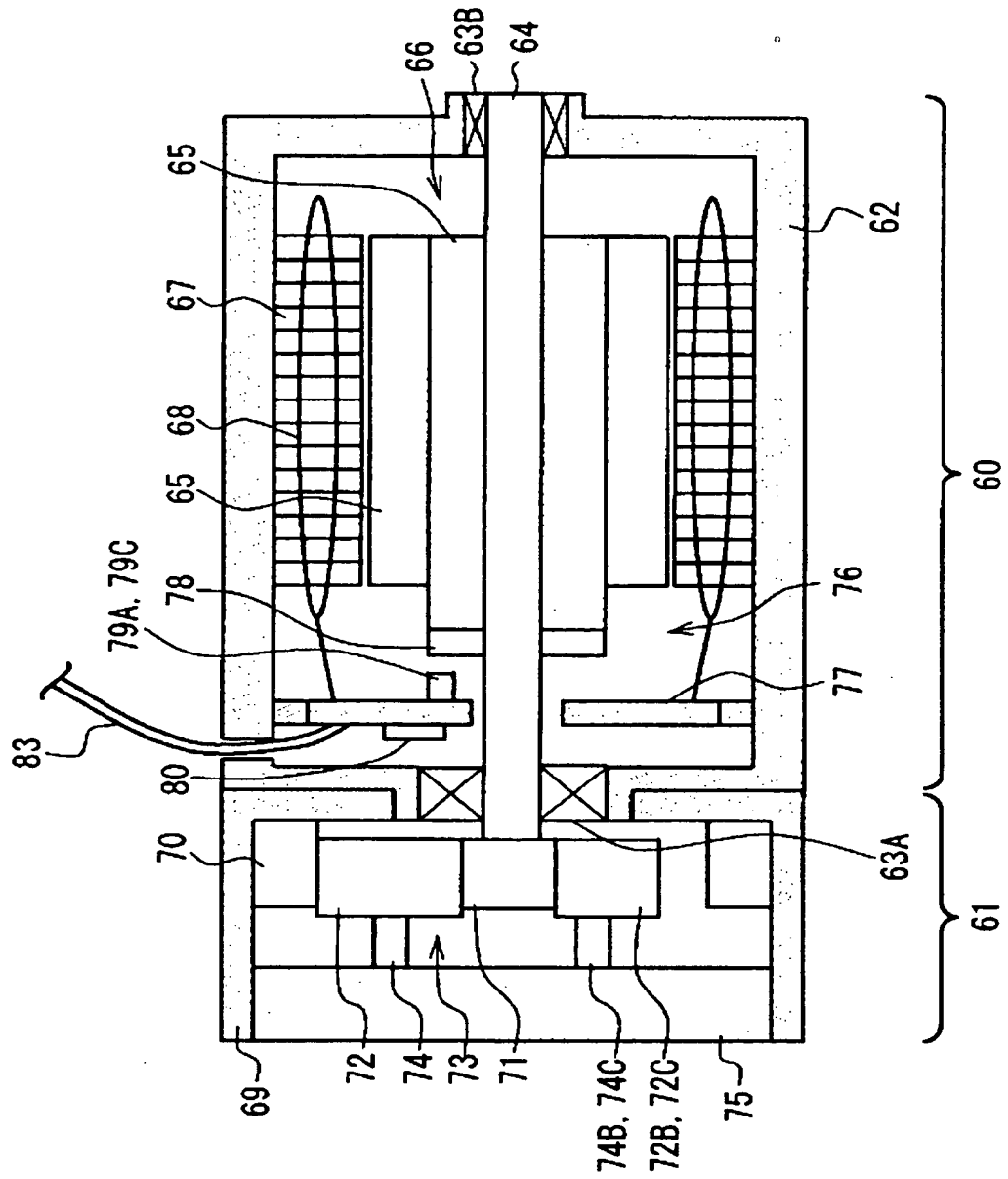




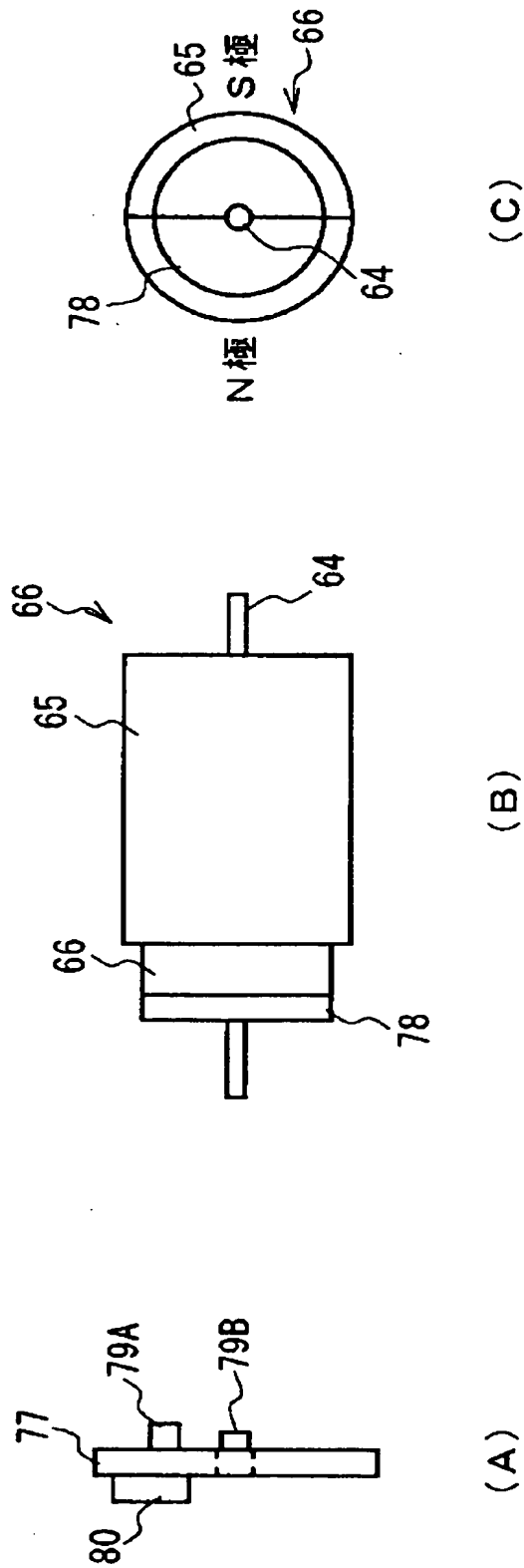
【図 8】



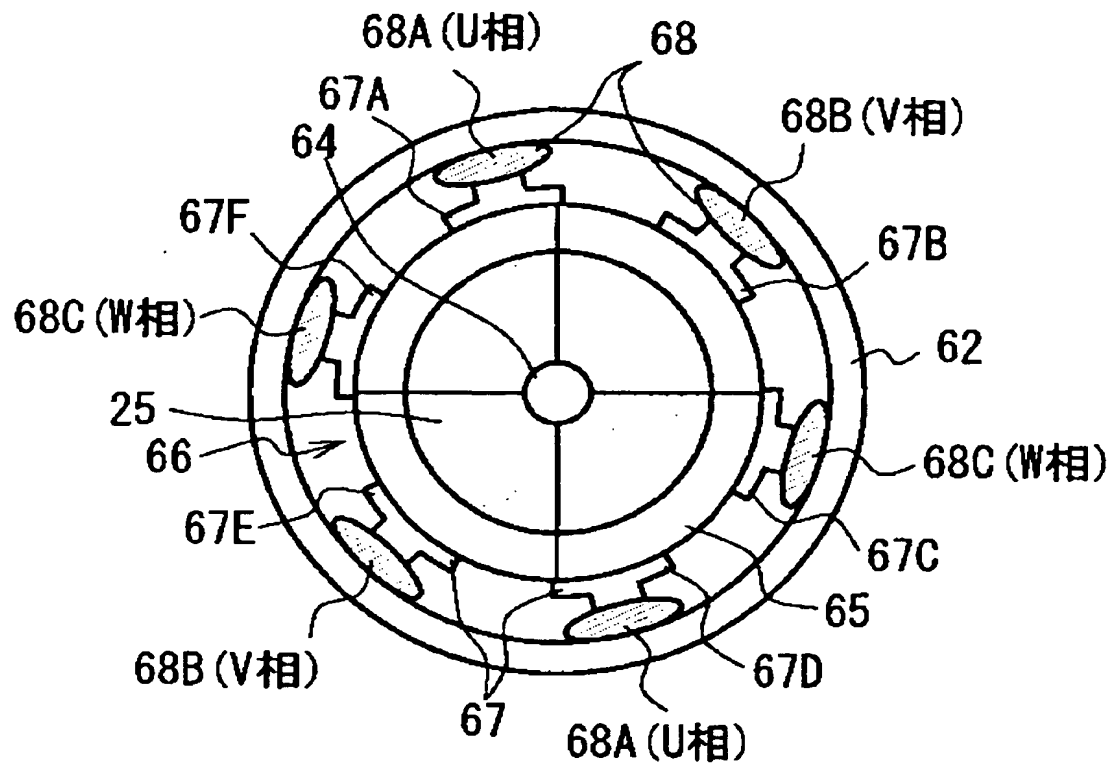
【図 9】



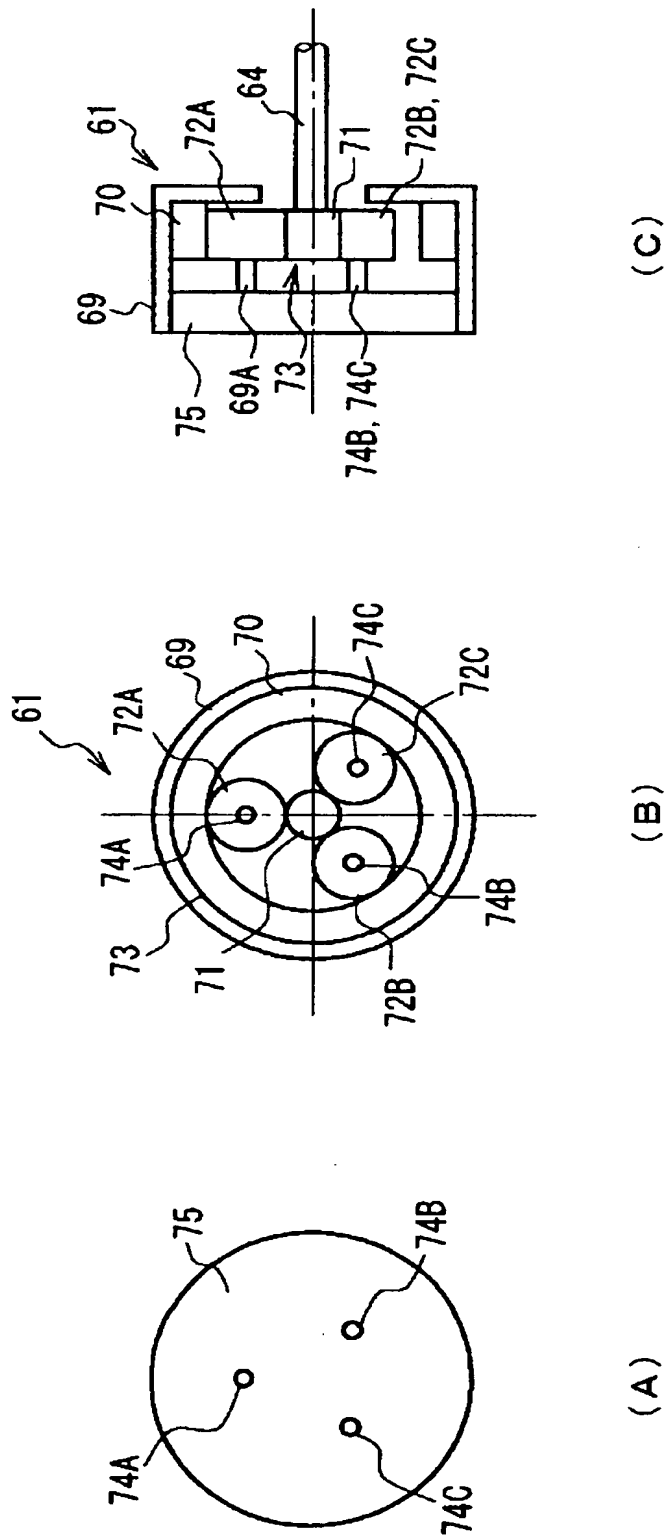
【図 10】



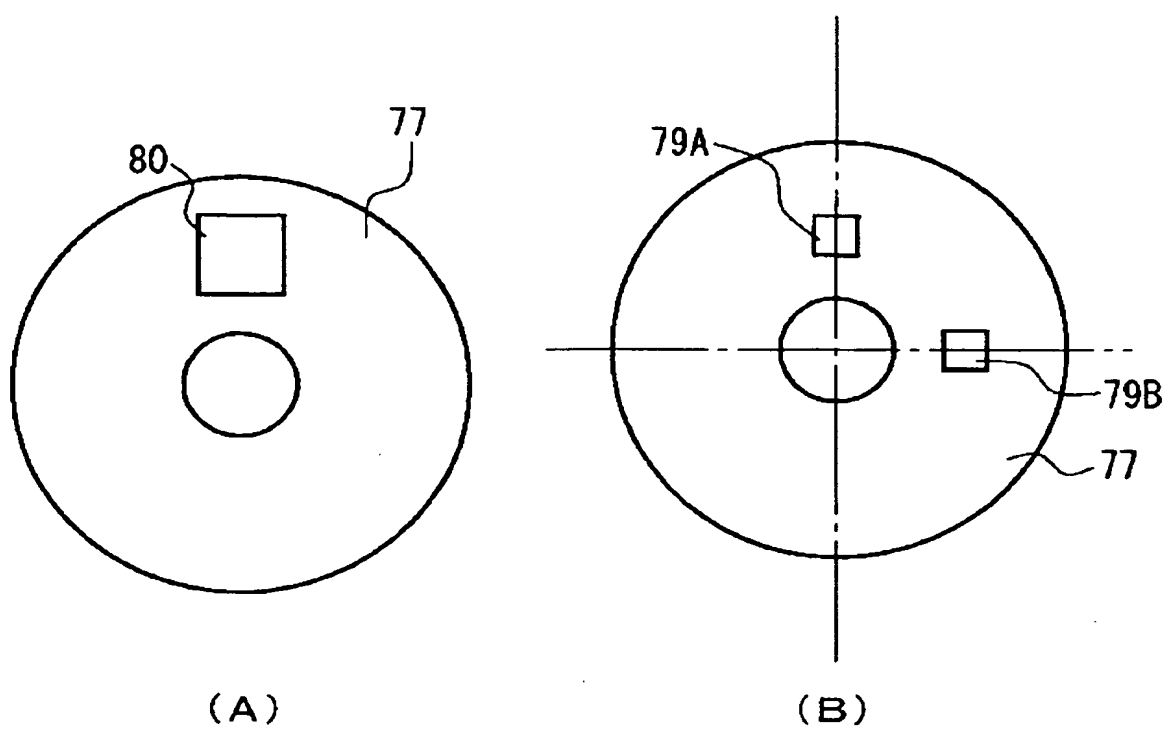
【図 11】



【図 12】

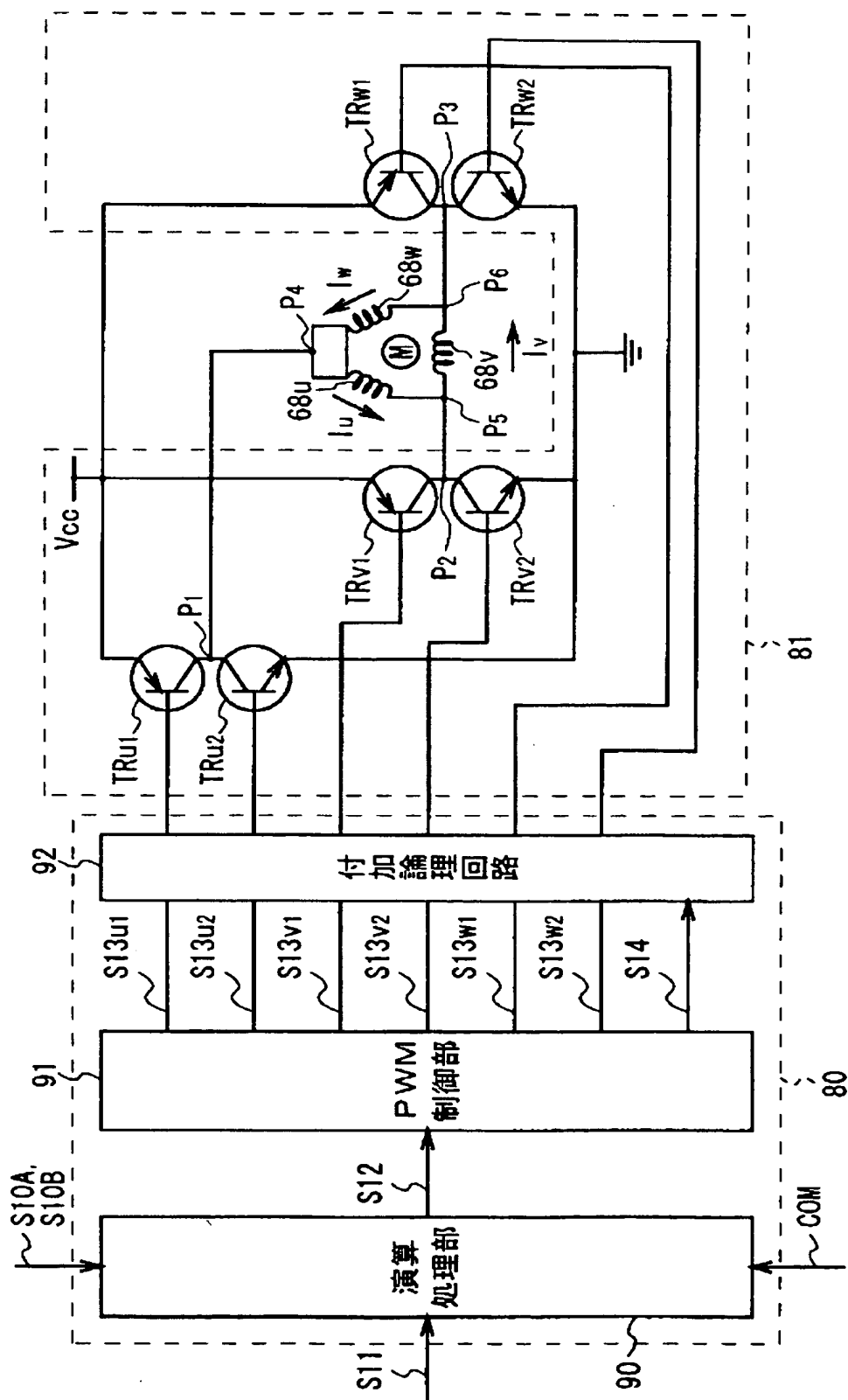


【図 13】



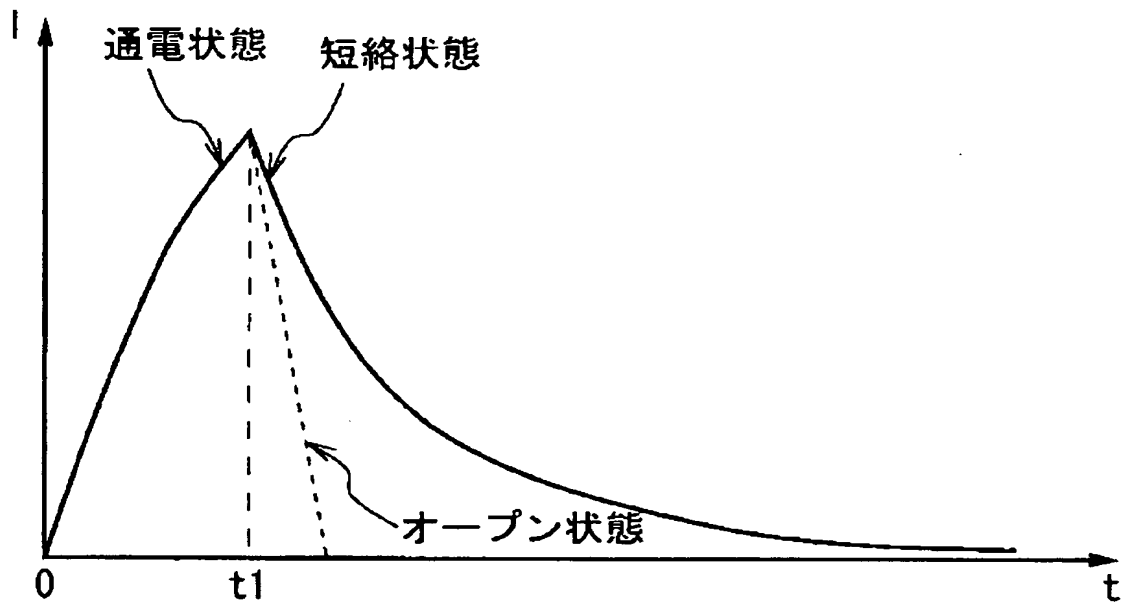


【図 15】

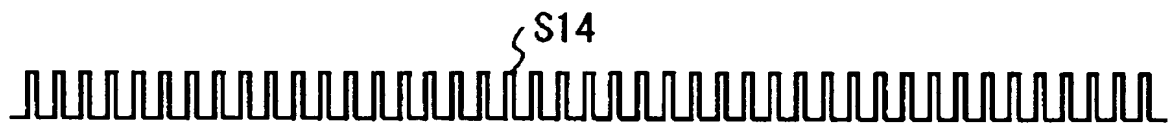




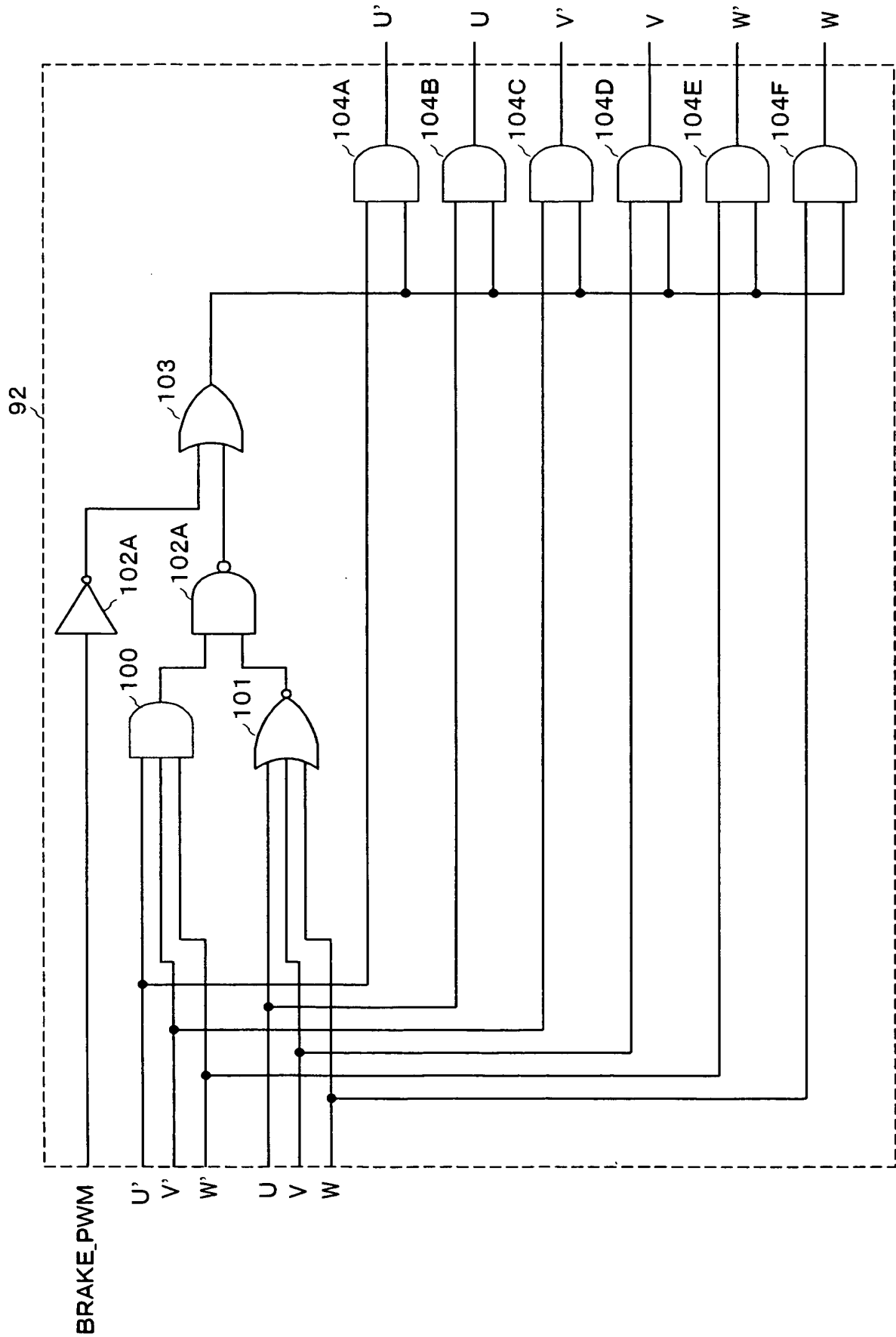
【図 16】



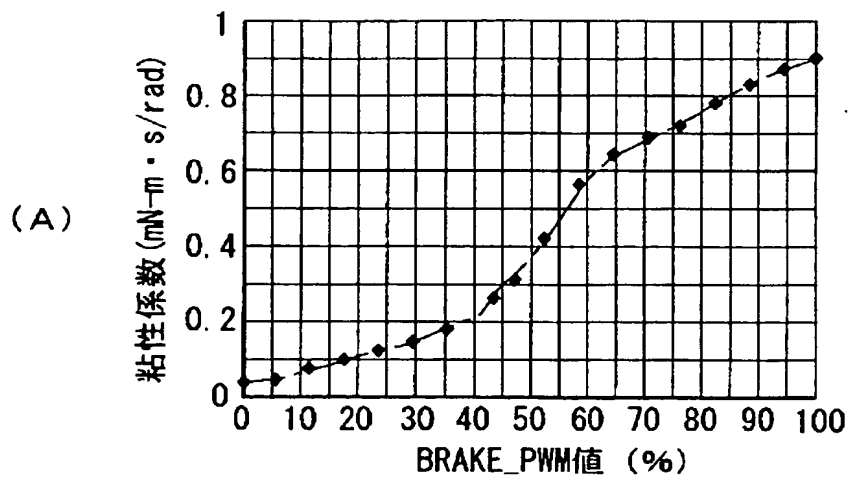
【図 17】



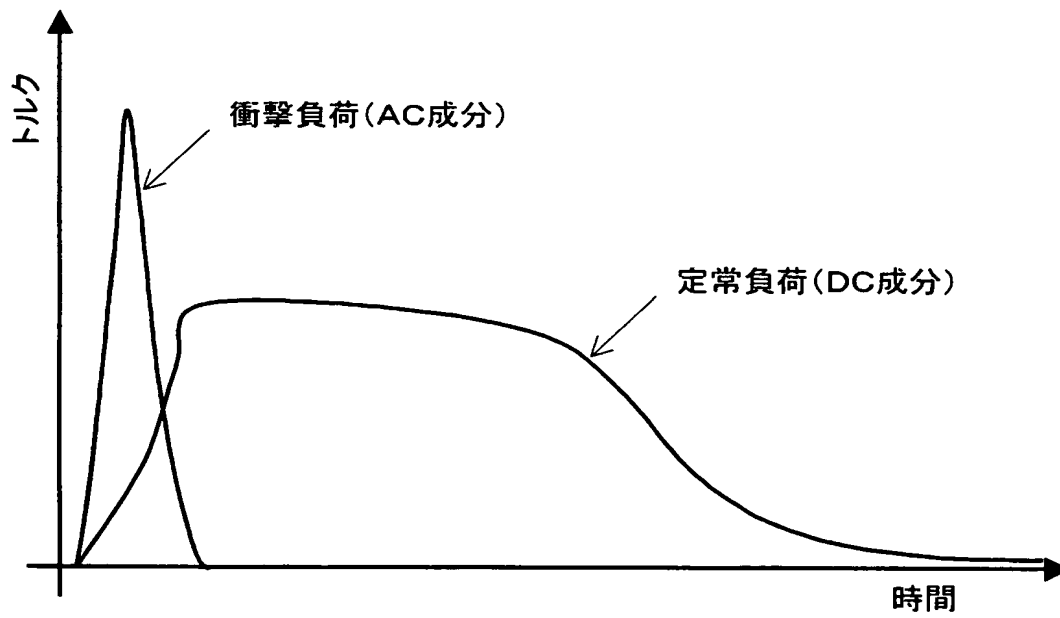
【図 18】



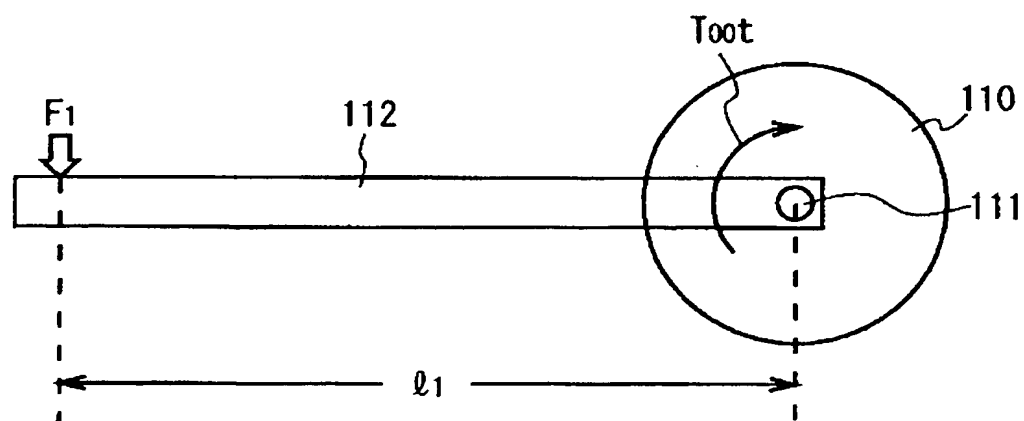
【図 19】



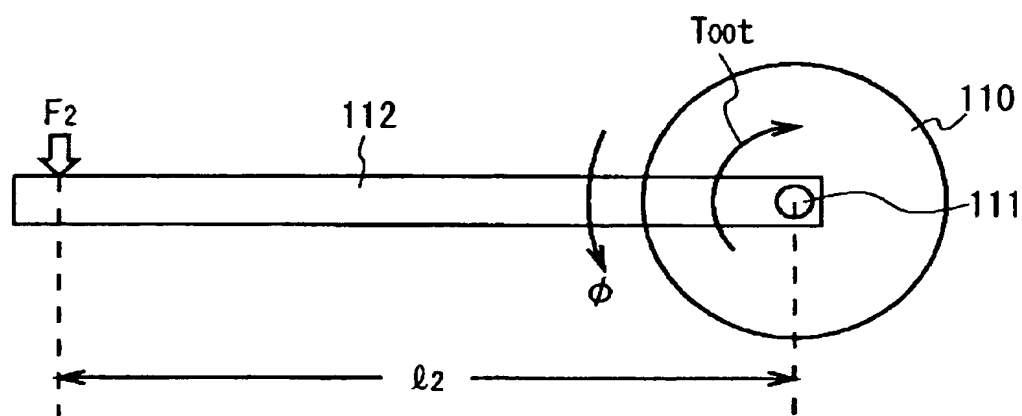
【図 20】



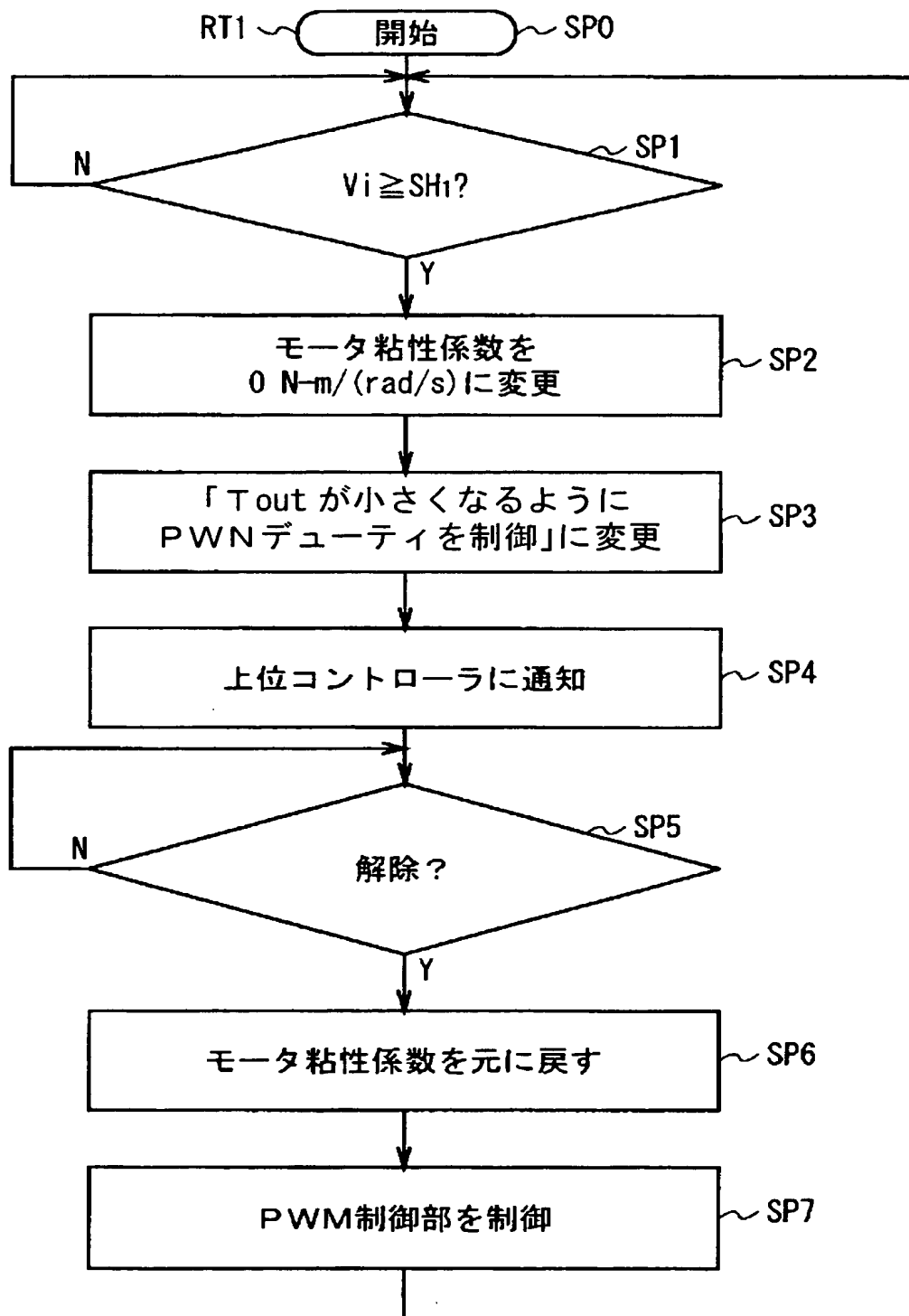
【図 21】



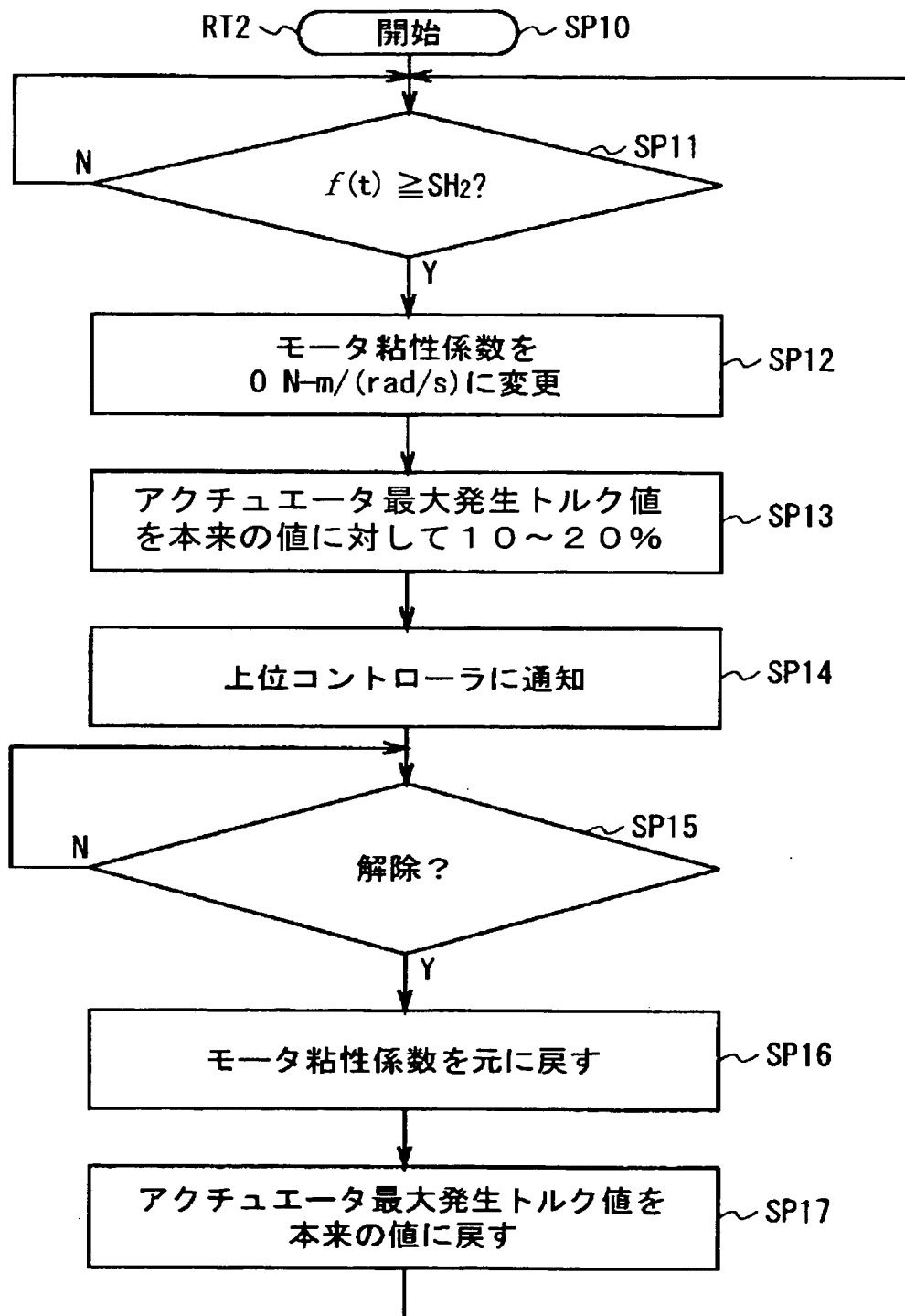
【図 22】



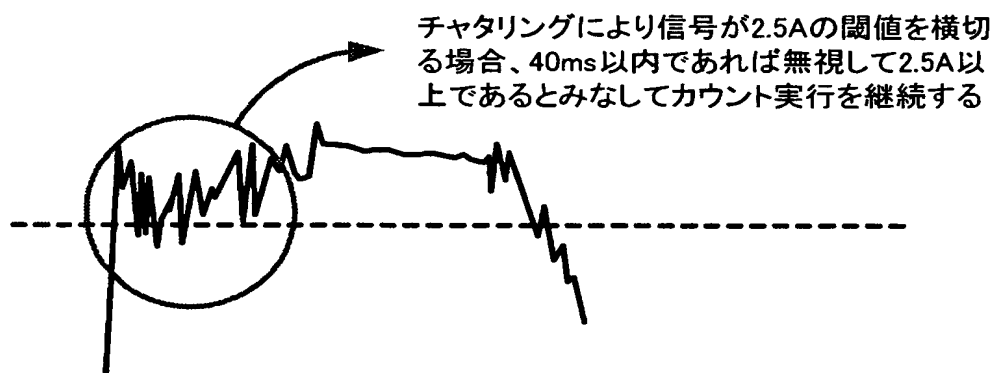
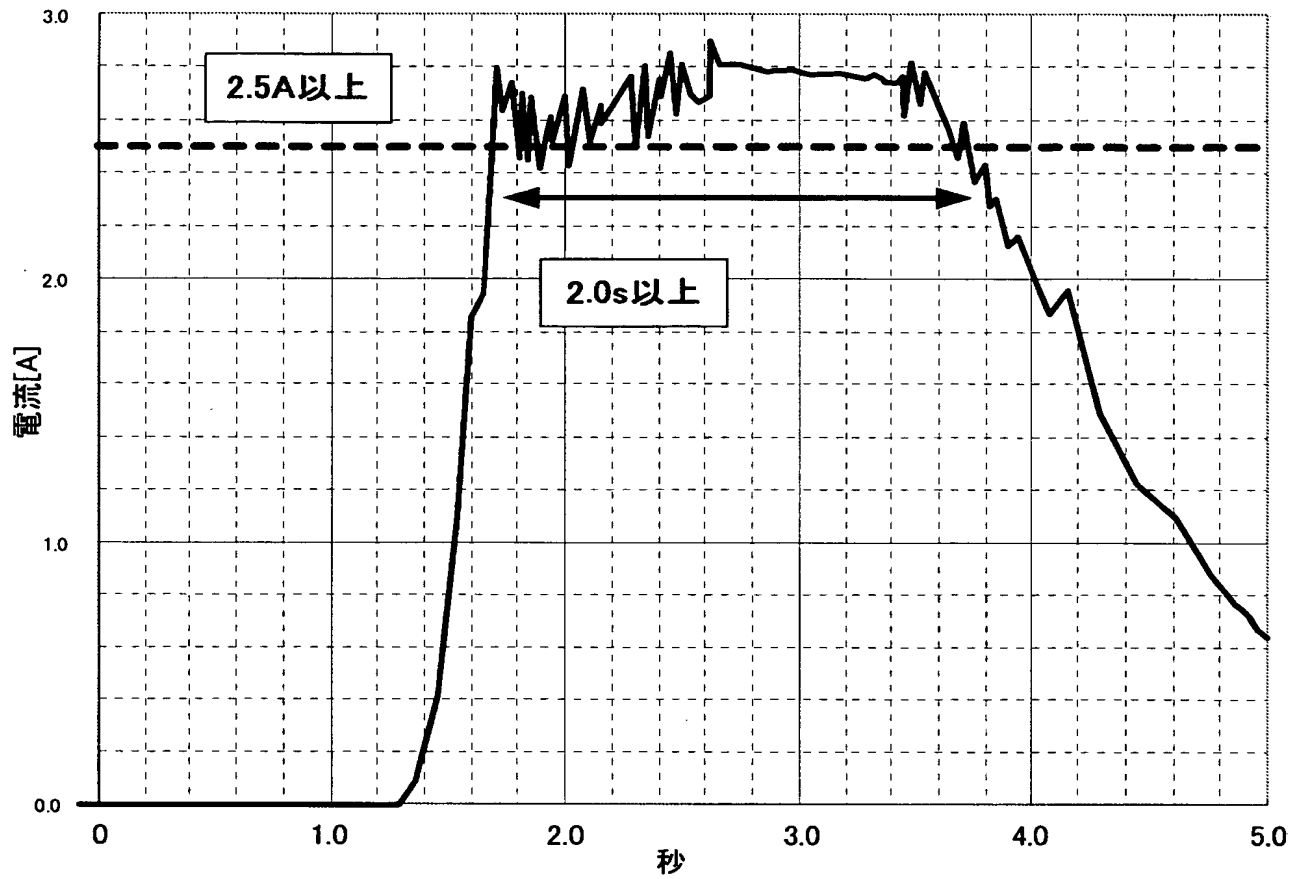
【図 23】



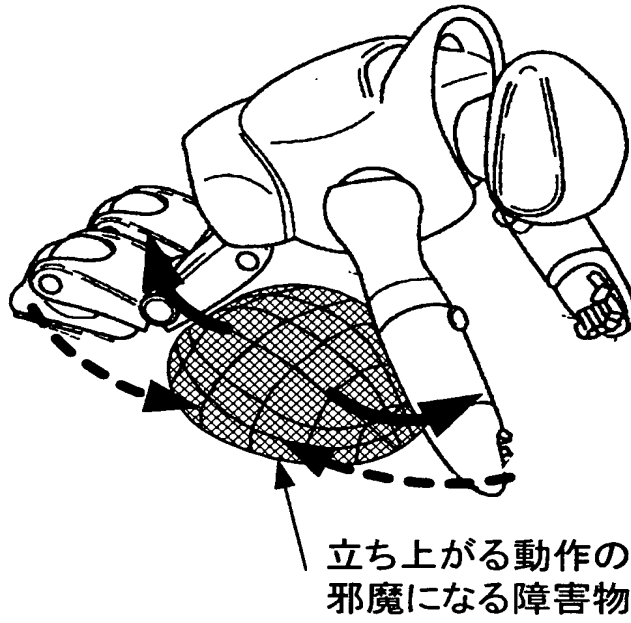
【図 24】



【図 25】

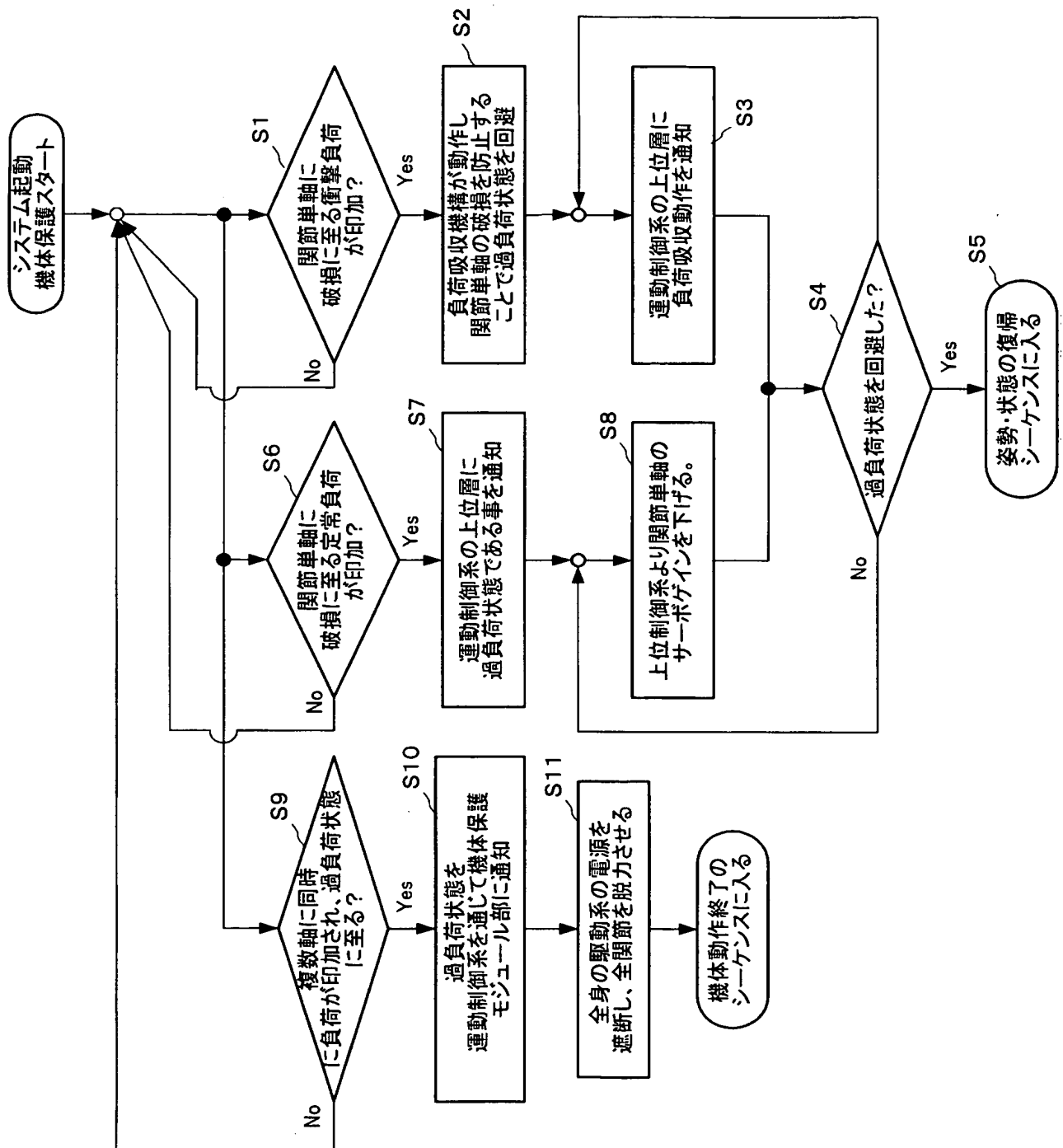


【図 26】

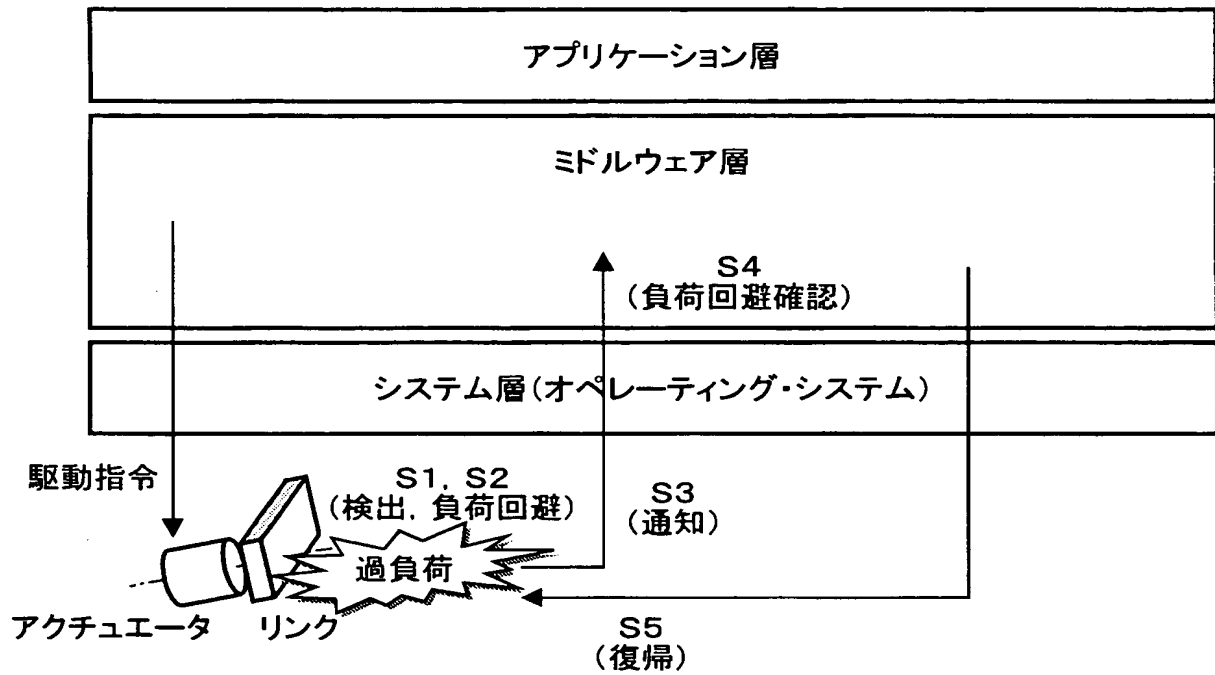




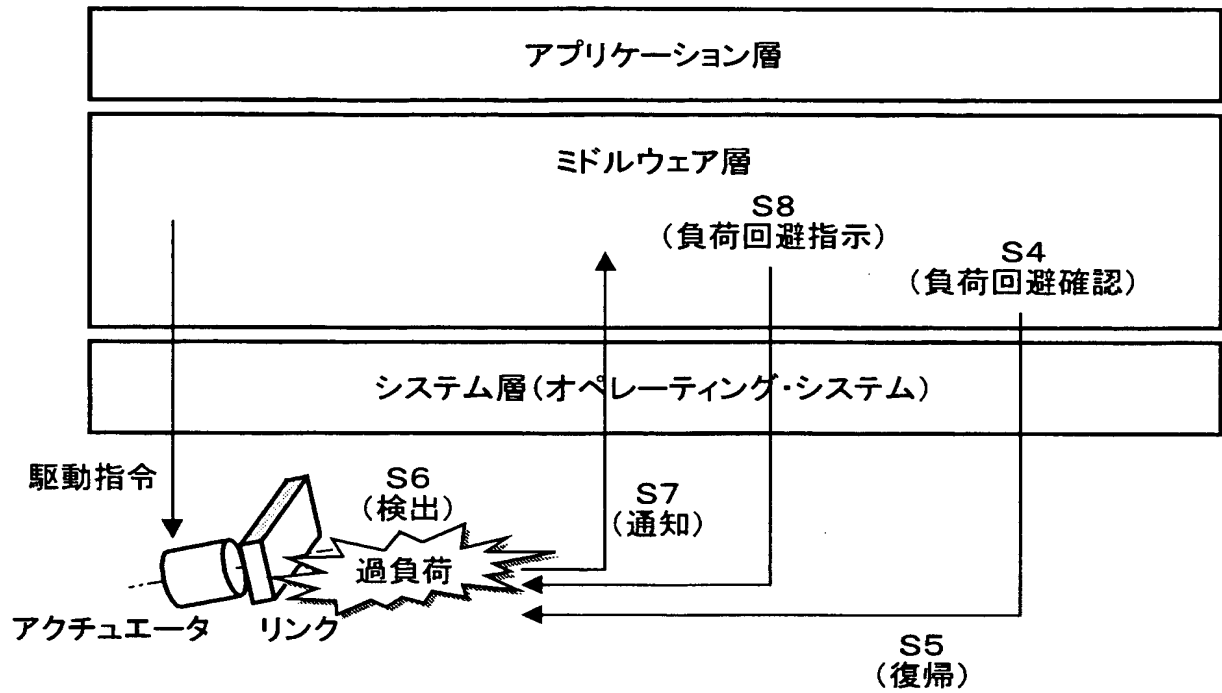
【図 27】



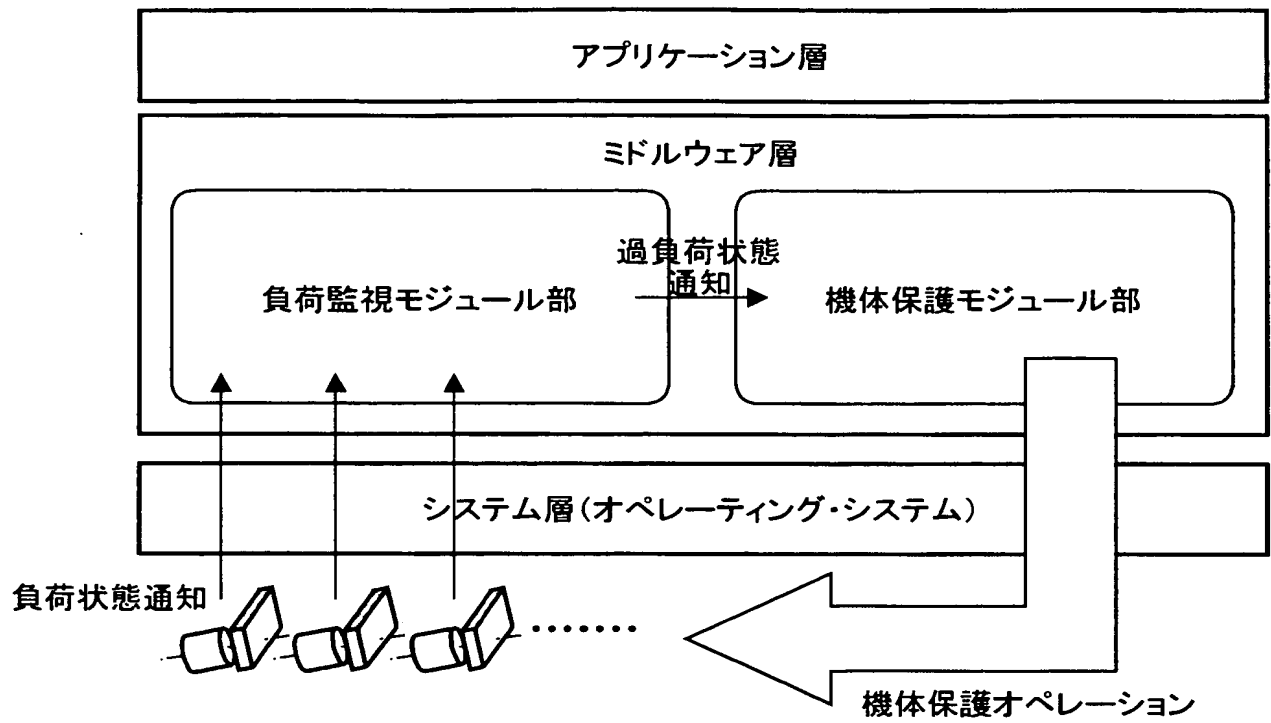
【図 28】



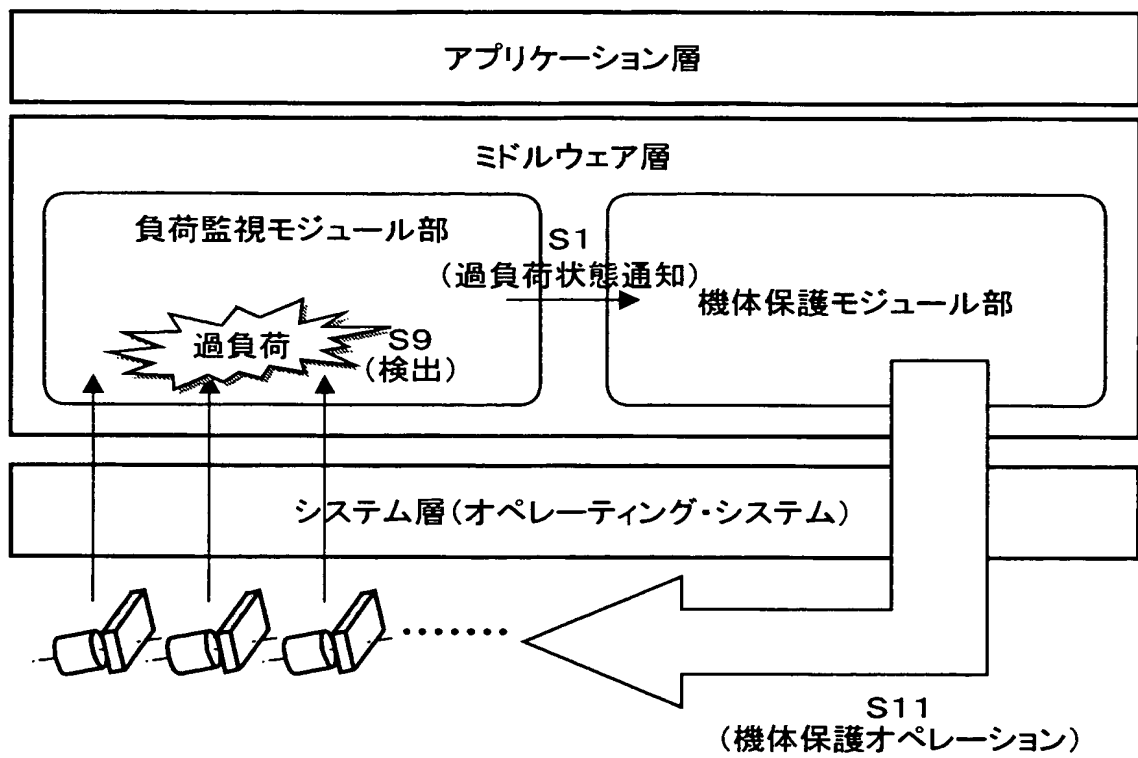
【図 29】



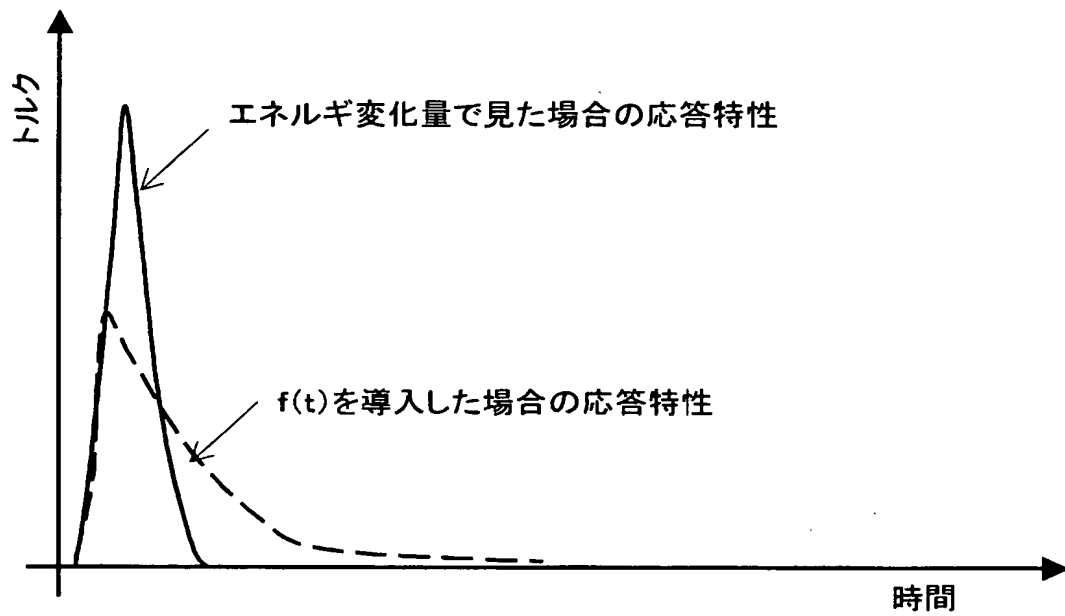
【図 30】



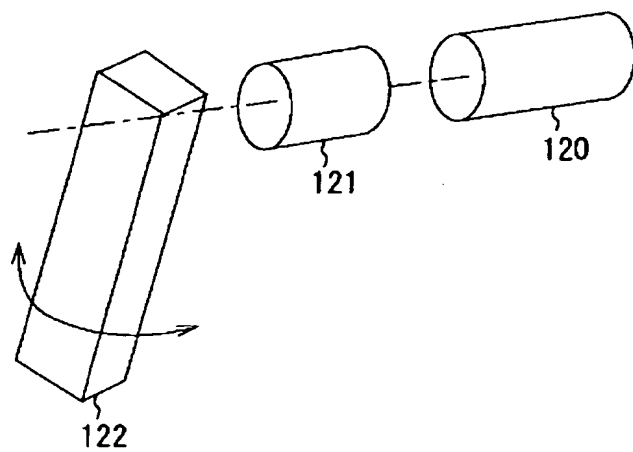
【図 31】



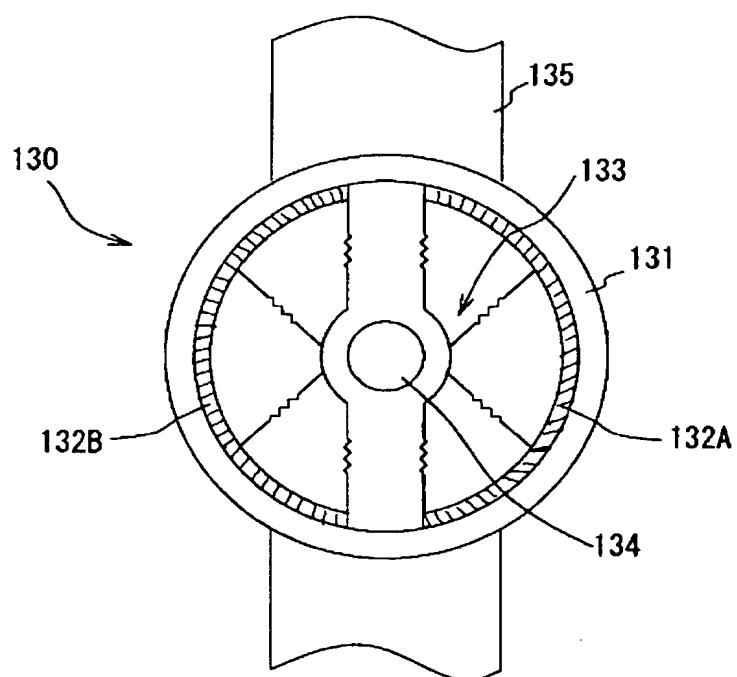
【図 3 2】



【図 33】



【図 34】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 モータの破壊や機体の変形に至りかねない過大な負荷を好適に検出し、モータへの過負荷が緩和する。

【解決手段】 モータの出力軸に連結されたリンクに印加されるトルクと前記モータによる発生トルクの絶対値の和により負荷トルクのDC成分を検出し、これが所定時間以上継続して第1の閾値を越えると過負荷を認識する。また、モータの出力軸に与えられるエネルギーの変化量がモータのトルクと角速度の積に比例するという性質に基づき、エネルギー変化量から負荷トルクのAC成分を検出し、これが第2の閾値を越えたことに応答して、過負荷を認識する。

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-367477
受付番号	50301786320
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成 15 年 10 月 31 日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】	000002185
【住所又は居所】	東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号
【氏名又は名称】	ソニー株式会社

## 【代理人】

申請人

【識別番号】	100093241
【住所又は居所】	東京都中央区新富 1-1-7 銀座ティーケイビル 6 階 澤田・宮田・山田特許事務所
【氏名又は名称】	宮田 正昭

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100101801
【住所又は居所】	東京都中央区新富 1-1-7 銀座ティーケイビル 6 階 澤田・宮田・山田特許事務所
【氏名又は名称】	山田 英治

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100086531
【住所又は居所】	東京都中央区新富 1-1-7 銀座ティーケイビル 6 階 澤田・宮田・山田特許事務所
【氏名又は名称】	澤田 俊夫

特願 2003-367477

出願人履歴情報

識別番号

[000002185]

・ 1. 変更年月日  
[変更理由]

1990年 8月30日

新規登録

住 所  
氏 名

東京都品川区北品川6丁目7番35号  
ソニー株式会社